

# **Detecting and quantifying misfire's in I.C. engine - employing crankshaft speed sensor and paired counters for discriminating between genuine and apparent combustion irregularities.**

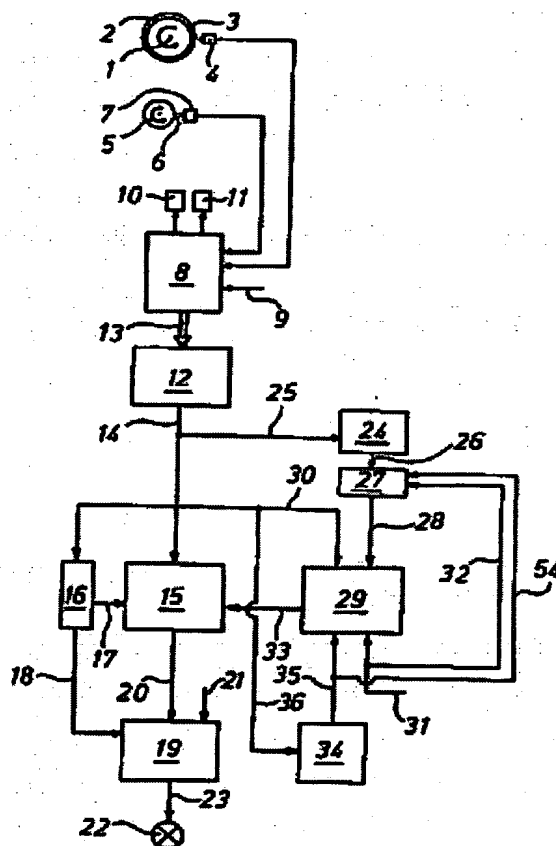
**Patent number:** DE4239055  
**Publication date:** 1994-04-07  
**Inventor:** STEFAN JOACHIM (DE)  
**Applicant:** AUDI NSU AUTO UNION AG (DE)  
**Classification:**  
 - international: F02D41/00; F02D41/22; F02P11/02  
 - european: G01M15/11  
**Application number:** DE19924239055 19921120  
**Priority number(s):** DE19924239055 19921120

## **Abstract of DE4239055**

The method for detecting and quantifying ignition irregularities, i.e. misfires, in a multicylinder IC engine involves using a crankshaft (1,2,3) sensor (4) to register an instantaneous fall in angular velocity during an expansion stroke as evidence of misfire. The misfires are counted (15) during an interval of 200 to 1000 revolutions, and on detection of an untypical increase in the number of apparent misfires a second counter (29) is triggered.

Such apparent misfires are caused by dynamic change in driving conditions e.g. acceleration, road surface, ice etc. registered by the second counter (29) via a suitable sensor (31) for subtraction from the first counter total. The net total is referenced to a preset threshold for visual warning (22).

**USE/ADVANTAGE** - Reliable indication of genuine misfires corrected for driver induced or random changes in dynamics of vehicle. Gives warning of possible damage due to overheating of catalytic converter etc..



Data supplied from the esp@cenet database - Worldwide

THIS PAGE RI ANK (ISPTO)



①⑨ BUNDESREPUBLIK  
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES  
PATENTAMT

⑫ Patentschrift  
⑩ DE 42 39 055 C 1

⑤① Int. Cl.<sup>5</sup>:  
**F 02 D 41/00**  
F 02 D 41/22  
F 02 P 11/02

②① Aktenzeichen: P 42 39 055.9-31  
②② Anmeldetag: 20. 11. 92  
④③ Offenlegungstag: —  
④⑤ Veröffentlichungstag  
der Patenterteilung: 7. 4. 94

DE 42 39 055 C 1

Innerhalb von 3 Monaten nach Veröffentlichung der Erteilung kann Einspruch erhoben werden

⑦③ Patentinhaber:  
Audi AG, 85057 Ingolstadt, DE

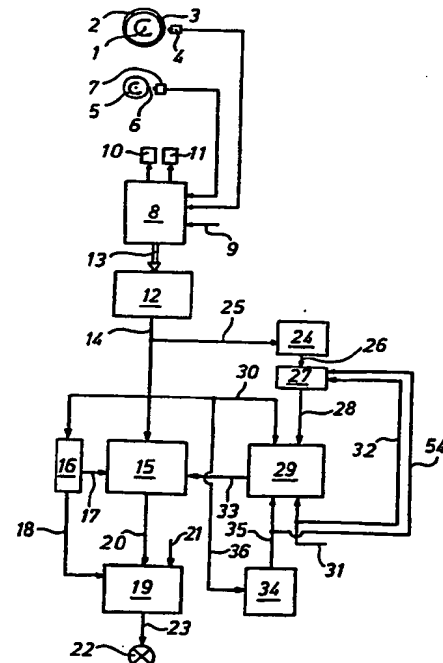
⑦② Erfinder:  
Stefan, Joachim, 8070 Ingolstadt, DE

⑤⑥ Für die Beurteilung der Patentfähigkeit  
in Betracht gezogene Druckschriften:

DE 41 00 527 A1  
DE 40 09 285 A1  
AT 3 88 780 B

⑤④ Verfahren und Vorrichtung zur Erkennung und Erfassung von Verbrennungsaussetzern bei Mehrzylinder-Brennkraftmaschinen in Fahrzeugen

⑤⑦ Die Erfindung betrifft ein Verfahren und eine Vorrichtung zur Erkennung und Erfassung von Verbrennungsaussetzern bei Mehrzylinder-Brennkraftmaschinen in Fahrzeugen. Bei der bekannten Erfassung von Verbrennungsaussetzern besteht das Problem von Fehlerkennungen, die zum (nicht erforderlichen) Einschalten einer Warnlampe führen können. Dieses Problem wird erfindungsgemäß dadurch gelöst, daß beim Auftreten untypischer Veränderungen in der Aussetzerrate zusätzlich zu einem Aussetzerzähler (15) ein Fehlerkennungszähler (29) gestartet wird. Wenn in einem durch einen Timer (27) vorgegebenen Zählintervall für den Fehlerkennungszähler (29) ein Fahraktionssignal (31) oder ein Plausibilitätssignal (35) auftreten, wird der momentane Zählerstand des Aussetzerzählers (15) um den Zählerstand des Fehlerkennungszählers (29) nach unten korrigiert.



DE 42 39 055 C 1

## Beschreibung

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Erkennung und Erfassung von Verbrennungsaussetzern bei Mehrzylinder-Brennkraftmaschinen in Fahrzeugen nach dem Oberbegriff des Anspruchs 1 und eine Vorrichtung zur Durchführung dieses Verfahrens nach dem Oberbegriff des Anspruchs 12, wie diese aus der DE 41 00 527 A1 bekannt sind.

Verbrennungsaussetzer in Brennkraftmaschinen können durch eine fehlerhafte Kraftstoffzumessung oder fehlerhafte Zündung verursacht werden, wobei insbesondere Zündaussetzer durch Defekte in einer elektronischen Motorsteuereinheit, den Zündspulen und den Zündkerzen vorkommen.

Moderne Kraftfahrzeuge sind mit Abgasreinigungsanlagen ausgerüstet, die einen Abgaskatalysator enthalten. Es ist allgemein bekannt, daß ein solcher Abgaskatalysator bei Überhitzung beschädigt und in seiner Wirkungsweise zerstört werden kann. Eine große Gefährdung durch Überhitzung besteht bei Verbrennungsaussetzern der Brennkraftmaschine, wenn Nachreaktionen des dann unverbrannten Kraftstoff-Luft-Gemisches im Abgastrakt auftreten. Ein besonderes Problem besteht darin, daß eine Beschädigung von Abgaskatalysatoren, wenn durch Überhitzung deren Funktion vermindert oder ganz wirkungslos geworden ist, nur mit großem Aufwand feststellbar ist.

Zu einer Lösung dieses Problems ist es bereits bekannt (DE 40 09 285 A1), eine Mehrzylinder-Brennkraftmaschine auf Verbrennungsaussetzer hin zu überwachen und zur Vermeidung einer Katalysatorschädigung durch Nachverbrennungen den Fahrer eines Fahrzeugs durch Aufleuchten einer Fehlerlampe am Armaturenbrett zu warnen.

Zur Erkennung eines Verbrennungsaussetzers geht dieses bekannte Verfahren von der Überlegung aus, daß bei der Verbrennung in jedem Zylinder die entstehenden Gaskräfte ein Drehmoment an der Kurbelwelle erzeugen, das während der Drehung um einen Kurbelwinkelbereich an der Kurbelwelle Arbeit leistet. Beim Aussetzen der Verbrennung wird diese Arbeit nicht geleistet und entsprechend nimmt die Rotationsenergie und damit die Drehzahl an der Kurbelwelle in dem zugeordneten Kurbelwinkelbereich ab.

Eine einfache Möglichkeit zur Erkennung einer solchen Drehzahlabnahme bei einem Verbrennungsaussetzer besteht darin, daß während eines Arbeitstakts jedes Zylinders über einen bestimmten Kurbelwellen-Drehwinkel-Bereich ein zylinderselektiver, gemittelter Drehzahlwert ermittelt wird. Anschließend wird dieser Drehzahlwert mit dem Drehzahlwert der vorhergehenden Verbrennung bzw. des in der Zündfolge vorhergehenden Zylinders in der Weise verglichen, daß ein Differenzwert gebildet wird. Dieser Differenzwert wird als Erkennungsparameter mit einem vorbestimmten Schwellwert verglichen. Dieser Schwellwert kann last- und drehzahlabhängig aus einem Kennfeld ausgelesen werden. Beim Überschreiten des Schwellwerts wird ein Aussetzersignal erzeugt.

Es ist bekannt, diese Aussetzersignale in einem Aussetzerzähler über ein Zählintervall von 200 oder 1000 Kurbelwellenumdrehungen jeweils ständig aufeinanderfolgend aufzusummieren und am Ende eines solchen Zählintervalls die aufsummierten Aussetzer mit einer vorgegebenen Grenzwert-Aussetzeranzahl zu vergleichen. Wenn die Grenzwert-Aussetzeranzahl überschritten ist, wird eine dauerhaft leuchtende Warnlampe am

Armaturenbrett angesteuert. In einigen Ländern ist geplant, beim Aufleuchten einer solchen Warnlampe einen sofortigen Werkstattbesuch mit einer Behebung von Fehlern zur Pflicht zu machen.

Insbesondere in diesem Zusammenhang liegt ein Problem in der oben dargestellten Verbrennungsaussetzererkennung durch Verzögerungsmessungen der Drehzahl, bevorzugt am Zahnkranz des Schwungrades der Brennkraftmaschine. Solche Verzögerungen können unabhängig von Verbrennungsaussetzern auch durch Störeinflüsse, wie Fahr- und Fahrbahneinflüsse, ausgelöst werden. Dies führt zu Fehlerkennungen von (tatsächlich nicht vorhandenen) Verbrennungsaussetzern, die (fälschlich) im Aussetzerzähler mit erfaßt und aufsummiert werden. Dadurch kann es am Ende eines Zählintervalls zu einer unzulässig hohen Verbrennungsaussetzerrate kommen, die über der Grenzwertaussetzeranzahl liegt. Dann wird die Warnlampe mit der Verpflichtung eines Werkstattbesuchs angesteuert, obwohl dies nicht erforderlich ist und auf Fehlerkennungen beruht. Bei einem Werkstattbesuch könnte in diesem Fall nur die ordnungsgemäße Funktion der Brennkraftmaschine festgestellt werden, was einen ungerechtfertigten, großen Aufwand mit erheblichen Unannehmlichkeiten für einen Fahrzeughalter, aber auch eine Negativwerbung, eventuell verbunden mit einer Aufwandserstattung für einen Fahrzeughersteller, darstellt.

In dem bekannten Verfahren nach der DE 41 00 527 A1 wird in jedem Fall die Aussetzerbestimmung innerhalb einiger vorgegebener Zündtakte nach dem Feststellen eines Aussetzers eingestellt. Vorzugsweise soll eine solche Einstellung über einige Zündtakte jedoch nur dann stattfinden, wenn erstmals nach einer vorgegebenen Anzahl von Wartezündtakte ein Aussetzer auftritt. Wurde somit ein Aussetzer festgestellt und dann die Aussetzerbestimmung für einige Zündtakte eingestellt und wird dann sogleich wieder ein Aussetzer festgestellt, bevor die Zahl der Wartezündtakte erreicht ist, erfolgt kein weiteres Einstellen der Aussetzerbestimmung, sondern jeder folgende Aussetzer wird gezählt, solange nicht mindestens über die vorgegebene Zahl von Wartezündtakte kein Aussetzer mehr auftritt. Erst dann wird nach einem erneuten Aussetzer die Aussetzerbestimmung für die vorgegebene Anzahl von Zündtakte wieder eingestellt.

Damit wird beim Auftreten eines Aussetzerssignals der Zählvorgang sofort unterbrochen, d. h. nachfolgende Aussetzersignale werden als Fehlerkennungen gewertet und nicht mitgezählt. Erst wenn nach der Einstellung der Aussetzerbestimmung sogleich wieder ein Aussetzer festgestellt wird, erfolgt eine durchgehende Zählung, die dann aber nicht als Fehlerkennung gewertet wird. Die Aussetzererkennung wird immer dann ganz abgeschaltet, wenn Betriebszustände auftreten, bei denen möglicherweise Fehlerkennungen auftreten können, wie bei schnellen Lastwechseln oder schnellen Drehzahlwechseln oder bei durch einen Beschleunigungssensor erkannten Fahrunebenheiten.

Aufgabe der Erfindung ist es demgegenüber, eine genauere quantitative Erfassung von Aussetzern durchzuführen.

Diese Aufgabe wird bezüglich des Verfahrens mit den kennzeichnenden Merkmalen des Anspruchs 1 und bezüglich der Vorrichtung mit den kennzeichnenden Merkmalen des Anspruchs 12 gelöst.

Gemäß Anspruch 1 wird der Verlauf und Anstieg der Aussetzerrate im ersten Zählintervall ermittelt und auf untypische Veränderungen hin analysiert. Beim Auftre-

ten solcher untypischer Veränderungen wird ein Startsignal für einen zweiten Zählvorgang erzeugt, bei dem in einem zusätzlichen Fehlerkennungszähler parallel zum Aussetzerzähler ebenfalls die Aussetzersignale zu einem Fehlerkennungszählerstand gezählt und aufsummiert werden.

Die Zähldauer dieses Fehlerkennungszählers ist durch ein zweites Zählintervall über einen Timer begrenzt. Nach diesem Zählintervall wird der Fehlerkennungszähler in jedem Fall wieder auf Null gesetzt.

Weiter werden dynamische Fahraktionen des Fahrzeugs ermittelt und beim Auftreten solcher Fahraktionen jeweils ein Fahraktionssignal erzeugt. Mit diesem werden der Aussetzerzähler und der Fehlerkennungszähler so angesteuert, daß der jeweilige momentane Fehlerkennungszählerstand von der Aussetzerrate bzw. vom Aussetzerzählerstand abgezogen wird.

Durch das Auftreten des Fahraktionssignals besteht eine hohe Wahrscheinlichkeit dafür, daß die erfaßten, untypischen Veränderungen in der Aussetzerrate auf Fehlerkennungen beruhen, die aufgrund dynamischer Fahraktionen (z. B. Bodenunebenheiten, Leistungsänderungen, Glatteis, etc.) aufgetreten sind und nicht auf tatsächlichen Verbrennungsaussetzern beruhen. Der jeweilige Aussetzerzählerstand wird somit um den Fehlerkennungszählerstand nach unten korrigiert, so daß (bei tatsächlich nicht aufgetretenen Verbrennungsaussetzern) die zulässige Grenzwert-Aussetzeranzahl nicht erreicht und damit auch die Warnlampe nicht eingeschaltet wird. Diese Korrektur wird somit nachträglich im Aussetzerzähler durchgeführt, obwohl dort Fehlerkennungen bereits mitgezählt wurden.

Mit der erfindungsgemäßen Maßnahme wird somit erreicht, daß eine Ansteuerung der Warnlampe mit ggfs. verpflichtendem Werkstattbesuch unterbleibt, obwohl der Aussetzerzähler aufgrund von Fehlerkennungen den vorgegebenen Grenzwert überschreiten würde.

Nach Anspruch 2 wird eine gut funktionsfähige und optimierte Auslegung erreicht, wenn das erste Zählintervall für den Aussetzerzähler und das zweite Zählintervall für den Fehlerkennungszähler etwa gleich groß sind und bevorzugt eine Intervallgröße von 200 bis 1000 Kurbelwellenumdrehungen haben.

Wenn der Fehlerkennungszähler relativ spät im Zählintervall für den Aussetzerzähler durch eine Unregelmäßigkeit gestartet wird, kann es insbesondere bei der Auslegung nach Anspruch 2 vorkommen, daß das zweite Zählintervall für den Fehlerkennungszähler (ohne daß ein Fahraktionssignal erzeugt wurde) noch läuft, wenn das erste Zählintervall bereits vorbei ist. Da aber in jedem Fall abgewartet werden sollte ob während des zweiten Zählintervalls ein Fahraktionssignal für eine Reduzierung der im ersten Zählintervall ermittelten Aussetzeranzahlen erzeugt wird, wird nach Anspruch 3 vorgeschlagen, daß in der Zeit, während der Fehlerkennungszähler läuft, die Warnlampe nicht angesteuert wird. Dies auch für den Fall, daß die Grenzwertaussetzeranzahl im Aussetzerzähler überschritten ist, da diese möglicherweise nachträglich noch durch die im Fehlerkennungszähler aufsummierte Aussetzeranzahl unter die Grenzwert-Aussetzeranzahl reduziert wird.

Wenn das Fahraktionssignal noch während des ersten Zählintervalls erzeugt wird, kann die im Aussetzerzähler aufgelaufene Aussetzeranzahl lediglich reduziert werden und baut sich dann vom reduzierten Niveau bis zum Ende des ersten Zählintervalls weiter auf, wobei dann der Grenzwertvergleich am Ende des ersten Zählintervalls durchgeführt wird.

Wenn innerhalb des ersten Zählintervalls jedoch kein Fahraktionssignal bei laufenden Fehlerkennungszähler erzeugt wird, wird gemäß Anspruch 4 nach dem Ablauf des ersten Zählintervalls ein Merkflag gesetzt. Dieses Merkflag zeigt an, daß an sich während des vorangegangenen Zählintervalls eine Grenzwertüberschreitung im Aussetzerzähler vorgelegen hat, jedoch noch der Fehlerkennungszähler läuft, so daß beim Auftreten eines Fahraktionssignals die vorhergehende Aussetzeranzahl im Aussetzerzähler nach unten korrigiert werden könnte. Tritt nun kein Fahraktionssignal bis zum Ablauf des zweiten Zählintervalls auf, erfolgt eine Ansteuerung der Warnlampe, da keine Fehlerkennung vorgelegen hat. Wird dagegen ein Fahraktionssignal gegeben, erfolgt die vorstehend ausgeführte Subtraktion, die zu einer Reduzierung der ermittelten Aussetzerrate unter den Grenzwert führen kann, wodurch dann die Warnlampe nicht angesteuert wird.

In einer bevorzugten Ausführungsform nach Anspruch 5 wird jeweils mit dem Auftreten eines Fahraktionssignals der Fehlerkennungszähler auf Null gesetzt und/oder eine bestimmte Maskierzeit gestartet, während der die Verbrennungsaussetzererkennung, insbesondere der Aussetzerzähler und der Fehlerkennungszähler, deaktiviert werden. Damit soll erreicht werden, daß offenbar gerade auftretende Störungen für eine kurze Zeit, bevorzugt über ca. 1/2 Zählintervall, ganz ausgeblendet werden. Es wird dabei davon ausgegangen, daß beim Vorliegen tatsächlicher Fehler im Zündsystem oder in der Kraftstoffeinspritzung diese ohnehin regelmäßig nacheinander auftreten werden und damit unmittelbar in nächsten Zählintervallen (ohne daß durch Randbedingungen Fahraktionssignale erzeugt werden) wieder auftreten und dann zur Ansteuerung der Warnlampe führen.

Nach Anspruch 6 soll der zweite Zählvorgang mit einem vorgegebenen Anfangswert im Fehlerkennungszähler gestartet werden. Mit dieser Maßnahme wird dem Umstand Rechnung getragen, daß beim Auftreten untypischer Veränderungen, d. h. bevor der Fehlerkennungszähler gestartet wird, diese (möglicherweise fehlerkannten) Aussetzersignale bereits im Aussetzerzähler erfaßt sind, ohne daß sie ggfs. später durch die im Fehlerkennungszähler erfaßten Fehlerkennungen noch reduziert werden können, da der Fehlerkennungszähler später gestartet wurde.

Mit Anspruch 7 wird vorgeschlagen, daß für den Fall, wenn ein Fahraktionssignal bei gestartetem Fehlerkennungszähler im ersten Zählintervall auftritt, dieses Zählintervall um die vorhergehende Einschalt-Intervalldauer des Fehlerkennungszählers verlängert wird. Damit wird dem Aussetzerzähler die Möglichkeit gegeben, in dem gerade betrachteten Zählintervall noch tatsächlich auftretende Verbrennungsaussetzer für einen geeigneten Vergleich mit dem Grenzwert zu zählen.

In einer weiterführenden Ausbildung nach Anspruch 8 wird nicht nur ein Fahraktionssignal betrachtet, das von einer tatsächlich erfolgten Fahraktion abgeleitet wird. Es werden vielmehr auch nicht unmittelbar und direkt erfaßbare Störeinflüsse über Plausibilitätsbetrachtungen berücksichtigt. Falls beispielsweise bei 6 Zündungen 3 Aussetzer (bei laufender Brennkraftmaschine) ermittelt werden, würde dies auf den Ausfall der Hälfte der Zylinder hinweisen, was offensichtlich nicht der Fall sein kann. Unter Zugrundelegung dieser Gedanken wird ein Plausibilitätssignal erzeugt, dergestalt, daß kurze, aufeinanderfolgende, dritte Zählintervalle und die darin auftretenden Aussetzer erfaßt und mit

einer maximal zulässigen Kurzzeit-Grenzwert-Aussetzeranzahl verglichen werden. Beim Überschreiten einer festgelegten, im Fahrzeugbetrieb aber nicht möglichen Kurzzeit-Grenzwert-Aussetzeranzahl wird dann ein Plausibilitätssignal erzeugt, das die gleiche Eingriffswirkung wie das Fahrfraktionssignal hat, nämlich daß der aufgelaufene Zählwert eines bereits gestarteten Fehlererkennungszählwerts vom Zählwert des Aussetzerzählers abgezogen wird. Mit dieser Maßnahme können somit auch Fehlerkennungen bei schwierig zu detektierenden Fahrfraktionen berücksichtigt werden, wodurch auf kostspielige Sensoren, wie z. B. Beschleunigungsaufnehmer, zur Erfassung solcher Fahrfraktionen weitgehend verzichtet werden kann.

Da Störeinflüsse von den Betriebsbedingungen der Brennkraftmaschine abhängig sind, wird mit Anspruch 9 vorgeschlagen, daß die Grenzwert-Aussetzeranzahl und/oder die Kurzzeit-Grenzwert-Aussetzeranzahl in Abhängigkeit vom Betrieb der Brennkraftmaschine ständig neu berechnet werden und/oder in an sich bekannter Weise aus einem Kennfeld entnommen werden.

Als untypische Veränderung im ersten Zählintervall zum Start des Fehlererkennungszählers wird nach Anspruch 10 ein sehr schneller Anstieg der Aussetzerrate oder eine Inhomogenität in der Art eines Knicks betrachtet.

Dynamische Fahrfraktionen, nach denen ein Fahrfraktionssignal erzeugt wird, können nach Anspruch 11 beispielsweise über Beschleunigungssensoren oder über Geber, die eine schnelle Drosselklappen- oder Gaspedalstellungsänderung erfassen, festgestellt werden.

Hinsichtlich der Vorrichtung wird die Aufgabe mit den kennzeichnenden Merkmalen des Anspruchs 12 gelöst.

In der Vorrichtung ist zusätzlich zum Aussetzerzähler ein weiterer Zähler als Fehlererkennungszähler vorgesehen, der mit einem Timer und mit dem Aussetzerzähler verbunden ist und dem die Aussetzersignale zugeführt werden. Der Timer ist mit einer Einheit zur Erkennung untypischer Veränderungen in der Aussetzerrate verbunden und beim Auftreten solcher Veränderungen werden der Timer und der Fehlererkennungszähler durch ein Signal gestartet. Weiter ist eine Einrichtung zur Erzeugung von Fahrfraktionssignalen und/oder Plausibilitätssignalen vorgesehen. Beim Auftreten eines entsprechenden Signals wird der momentane Zählerstand des Fehlererkennungszählers vom Zählerstand des Aussetzerzählers abgezogen und der Timer und der Fehlererkennungszähler werden zurückgesetzt.

Eine solche Vorrichtung kann einfach und mit dem im Zusammenhang mit dem Verfahren erläuterten Vorteilen kostengünstig mit nur im Vergleich zum gattungsgemäßen Stand der Technik wenigen, zusätzlichen Bauteilen aufgebaut werden.

Anhand einer Zeichnung wird die Erfindung weiter erläutert.

Es zeigen

Fig. 1 eine schematische Darstellung einer Vorrichtung zur Erkennung und Erfassung von Verbrennungsaussetzern bei Mehrzylinder-Brennkraftmaschinen in Fahrzeugen,

Fig. 2 Diagramme, in denen insbesondere Zählerstände während Zählintervallen dargestellt sind, ohne Korrektur durch eine Fehlerkennung,

Fig. 3 eine Darstellung entsprechend Fig. 2, mit einer Fehlerkennungskorrektur während eines Beobachtungs- und Zählintervalls und

Fig. 4 eine Darstellung entsprechend Fig. 3 mit einer

nachträglichen Fehlerkennungskorrektur nach einem Zählintervall.

In Fig. 1 ist auf einer Kurbelwelle 1 ein Zahnrad 2 angebracht, dessen Zähne 3 bzw. Zahnflanken als Signalgeber mit einem ersten Sensor 4 zusammenwirken. Bei einer Brennkraftmaschine, die im Viertaktbetrieb arbeitet, besteht jedes Arbeitsspiel aus zwei Umdrehungen der Kurbelwelle. Für eine Sechszylinder-Brennkraftmaschine ergeben sich daraus drei Verbrennungen pro Umdrehung, so daß jedem Zylinder somit  $1/3$  eines Kreises, also  $120^\circ$ , zugeordnet sind. Die Kurbelwelle 1 treibt mit halber Kurbelwellendrehzahl eine Nockenwelle 5, die eine Phasenmarke 6 trägt, welche mit einem zweiten Sensor 7 zusammenwirkt. Über diese Phasenmarke 6 ist eine eindeutige Zuordnung eines bestimmten Zylinders zu einem Kurbelwellenwinkel möglich.

Die Signale aus den beiden Sensoren 4 und 7 sind einem digitalen Motorsteuergerät 8 zugeführt, dem weitere Parametersignale, insbesondere ein Lastsignal 9, zugeführt werden. Das Steuergerät 8 ermittelt den Einspritzzeitpunkt, die Einspritzmenge und den Zündzeitpunkt und überträgt entsprechende Signale an eine elektronische Einspritzvorrichtung 10 und eine Zündvorrichtung 11.

Einer Einheit 12 zur Ermittlung von Aussetzersignalen (die auch im Motorsteuergerät 8 integriert sein kann) werden über eine Leitung 13, insbesondere die dort verarbeiteten Signale, ebenfalls zugeführt. Für eine Aussetzererkennung wird innerhalb eines Meßfensters mit Hilfe einer Zeitmessung ein mittlerer Drehzahlwert aus dem Vorbeigang eines bestimmten Kurbelwellendrehwinkelbereichs am Sensor 4 berechnet. Dieser gemittelte Drehzahlwert wird jedem Arbeitstakt zylinderselektiv zugeordnet. Dieser Drehzahlwert wird mit einem Drehzahlwert der vorhergehenden Verbrennung verglichen, indem ein Differenzwert gebildet wird. Wenn dieser Differenzwert einen vorgegebenen Schwellwert überschreitet, wird auf einen Aussetzer geschlossen und ein entsprechendes Signal als Impulssignal in der Leitung 14 abgegeben.

Der Einheit 12 ist ein Aussetzerzähler 15 nachgeschaltet, der von einer Zählintervallsteuerung 16 über eine Leitung 17 so gesteuert wird, daß er jeweils nach 1000 Umdrehungen gestartet und zurückgesetzt wird. Zugleich wird über eine Leitung 18 zum Ende eines Zählintervalls ein Vergleicher 19 aktiviert, der die im Aussetzerzähler 15 zum Ende eines Zählintervalls aufsummierte Intervall-Aussetzeranzahl (über Leitung 20) mit einem zugeführten Grenzwert (Leitung 21) vergleicht. Beim Überschreiten dieses Grenzwerts wird eine Warnlampe 22 angesteuert (Leitung 23).

Zugleich werden die Aussetzersignale einer Einheit 24 zur Erkennung untypischer Veränderungen der Aussetzerrate zugeführt (Leitung 25). Falls eine solche untypische Veränderung, z. B. ein plötzlich starker Anstieg, festgestellt wird, wird über eine Leitung 26 ein Startsignal an einen nachgeschalteten Timer 27 gegeben. Über diesen Timer wird ein zweites Zählintervall bestimmt, wobei über eine Leitung 28 ein Fehlererkennungszähler 29 gestartet und zurückgesetzt werden kann. Diesem Zähler 29 werden ebenfalls die Aussetzersignale zugeführt (Leitung 30).

Über eine Leitung 31 kann dem Fehlererkennungszähler ein Fahrfraktionssignal zugeführt werden, das beispielsweise bei einer schnellen Beschleunigung oder einer großen Lastanforderungsänderung, erzeugt wird. Beim Auftreten eines solchen Signals werden der Fehlererkennungszähler 29 und der Timer 27 gestoppt (Lei-

tung 32) und zurückgesetzt. Zugleich wird die im Fehlerkennungszähler 29 aufsummierte Fehlerkennungsanzahl an den Aussetzerzähler 15 gegeben (Leitung 33) und von dem dortigen, momentanen Zählerstand abgezogen.

Parallel und mit der gleichen Wirkung wie ein Fahraktionssignal kann in einer Einheit 34 ein Plausibilitätssignal erzeugt werden (Leitung 35). Dazu werden über kurze Zählintervalle auftretende Aussetzer (zugeführt mit Leitung 36) mit Kurzzeitgrenzwerten verglichen, die aus technischen Überlegungen beim Betrieb der Brennkraftmaschine nicht überschritten werden können, so daß ermittelte Aussetzer auf Störeinflüssen beruhende Fehlerkennungen sein müssen. Auch beim Auftreten eines Plausibilitätssignals werden der Fehlerkennungszähler 29 und der Timer 27 (über Leitung 54) gestoppt und zurückgesetzt.

In den Fig. 2, 3 und 4 sind jeweils in den Diagrammen a) die Zählerrate des Aussetzerzählers 15 innerhalb aufeinanderfolgender, erster Zählintervalle 37 (entsprechend 1.000 Umdrehungen) angegeben. Im Diagramm b) ist das durch den Timer 27 vorgegebene Zählintervall und im Diagramm c) ist ein Fahraktionssignal eingezeichnet.

Im Diagramm d) ist der Zählerstand des Fehlerkennungszählers 29 gezeigt und im Diagramm e) die Dauer eines Merkflag gezeigt.

In den Fig. 2, 3 und 4 ist im Diagramm a) jeweils ein üblicher und unkritischer Anstieg (Kurvenbereich 38) dargestellt, der bei einer entsprechenden Weiterführung die eingezeichnete Grenzwertaussetzeranzahl 39 im Zählintervall 37 nicht übersteigen würde. An der Stelle 40 erfolgt nun ein untypischer, schneller Anstieg, der von der Einheit 24 entsprechend erkannt wird, so daß kurz darauf (Bezugszeichen 41) sowohl der Timer 27 (Diagramm b) als auch der Fehlerkennungszähler 29 (Diagramm d) gestartet werden. Der Fehlerkennungszähler 29 wird dabei bereits mit einem vorgegebenen Anfangswert 42 gestartet, mit dem der Versatz zwischen den Stellen 40 und 41 berücksichtigt wird.

Am Ende des Zählintervalls 37 wurde durch die gesamte aufsummierte Intervall-Aussetzeranzahl 43 die Grenzwertaussetzeranzahl 39 überschritten. Da der Fehlerkennungszähler 29 aber noch läuft (durch Timer vorgegebenes, zweites Zählintervall 44), wird aber die Warnlampe 22 noch nicht angesteuert, sondern ein Merkflag 45 gesetzt. Da bis zum Ablauf des gesamten zweiten Zählintervalls 44 im Fall der Fig. 2 kein Fahraktionssignal oder Plausibilitätssignal erzeugt wird, wird dann an der Stelle 46 die Warnlampe eingeschaltet.

Fig. 3 stellt wieder den Fall dar, daß der Fehlerkennungszähler 29 aktiviert wurde. Nun wird allerdings innerhalb des ersten Zählintervalls an der eingezeichneten Stelle (Pfeil 47) ein Fahraktionssignal 48 (Diagramm c) erzeugt, wodurch die im Fehlerkennungszähler 29 gezählte Aussetzeranzahl von der im Aussetzerzähler 15 abgezogen und der Wert 49 erhalten wird.

Zudem wird eine Maskierzeit 50 gestartet, während der die Fehlererkennung inaktiv ist, so daß sich das erste Zeitintervall aus einem ersten Teil 51 und einem zweiten Teil 52 zusammensetzt. Nach der Maskierzeit 50 wird somit der Zählvorgang im Teil 52 weiter fortgesetzt; die Grenzwertaussetzeranzahl 39 wird zum Ablauf des Zählintervalls nicht überschritten, so daß keine Ansteuerung der Warnlampe erfolgt. Ersichtlich wäre ohne den abgezogenen Korrekturwert aus dem Fehlerkennungszähler 29 die Grenzwertaussetzeranzahl 39 überschritten worden.

In Fig. 4 wurde wiederum der Fehlerkennungszähler 29 gestartet. Zum Ende des ersten Zählintervalls 37 wurde ersichtlich die Grenzwertaussetzeranzahl 39 durch die ermittelte Aussetzerrate überschritten. Da der Fehlerkennungszähler 29 zu diesem Zeitpunkt noch läuft (der Timer 27 ist noch nicht abgelaufen, Diagramm b), wird die Warnlampe noch nicht angesteuert, sondern ein Merkflag 45 gesetzt. An der Stelle 53 wird ein Fahraktionssignal 48 oder ein Plausibilitätssignal erzeugt (Diagramm c), wodurch vom momentanen Zählwert 54 des Aussetzerzählers 15 der Zählwert des Fehlerkennungszählers 29 abgezogen wird. Dadurch wird der Wert Null erhalten, d. h. die Grenzwertaussetzeranzahl 39 wird nicht erreicht, wodurch das Merkflag 45, der Timer 27 und der Fehlerkennungszähler 29 zurückgesetzt werden und die Warnlampe nicht angesteuert wird. Zudem wird die Maskierzeit 50 gestartet und nach deren Ablauf summiert der Aussetzerzähler 15 die eilaufenden Aussetzersignale wieder neu auf. In diesem Fall wurde somit eine Korrektur nach dem Ablauf des ersten Zählintervalls 37 durchgeführt. Trotz Überschreiten der Grenzwertaussetzeranzahl 39 hat dies zu keiner Ansteuerung der Warnlampe geführt, da sich nachträglich herausgestellt hat, daß Fehlerkennungen vorgelegen haben.

#### Patentansprüche

1. Verfahren zur Erkennung und Erfassung von Verbrennungsaussetzern bei Mehrzylinder-Brennkraftmaschinen in Fahrzeugen, wobei dynamische Fahraktionen des Fahrzeugs ermittelt werden und beim Auftreten einer solchen Fahraktion ein Fahraktionssignal erzeugt wird, die Momentandrehzahl zugeordnet zum Arbeitstakt eines Zylinders gemessen wird und bei einer bestimmten Abnahme eines solchen Drehzahlwerts jeweils ein Aussetzersignal erzeugt wird, die erzeugten Aussetzersignale in einem Aussetzerzähler während bestimmter, aufeinanderfolgender erster Zählintervalle entsprechend jeweils einer bestimmten Anzahl von Kurbelwellenumdrehungen als Aussetzer gezählt und zu einer Intervall-Aussetzeranzahl aufsummiert werden und dann der Aussetzerzähler wieder zurückgesetzt wird, die im jeweiligen ersten Zählintervall ermittelte Intervall-Aussetzeranzahl mit einer vorgegebenen Grenzwert-Aussetzeranzahl verglichen wird und wenn die Intervall-Aussetzeranzahl diese Grenzwert-Aussetzeranzahl überschreitet, eine Warnlampe eingeschaltet wird, dadurch gekennzeichnet, daß der Verlauf und Anstieg des Aussetzerzählerstandes im ersten Zählintervall (37) ermittelt und auf untypische Veränderungen (40) hin analysiert wird, daß beim Auftreten von untypischen Veränderungen (40) ein Startsignal für einen zweiten Zählvorgang erzeugt wird, bei dem in einem Fehlerkennungszähler (29) parallel zum Aussetzerzähler (15) ebenfalls die Aussetzersignale gezählt und zu einem Fehlerkennungszählerstand aufsummiert werden, daß die Zähldauer des Fehlerkennungszählers (29) durch ein zweites Zählintervall (44) begrenzt ist und danach der Fehlerkennungszähler (29) in jedem Fall wieder auf Null gesetzt wird, und

daß mit dem Fahraktionssignal (48) bei ermittelten dynamischen Fahraktionen der Aussetzerzähler (15) und der Fehlerkennungszähler (29) so angesteuert werden, daß der jeweilige Fehlerkennungszählerstand vom Aussetzerzählerstand abgezogen wird. 5

2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß das erste Zählintervall (37) für den Aussetzerzähler (15) und das zweite Zählintervall (44) für den Fehlerkennungszähler (29) etwa gleich groß sind und bevorzugt eine Intervallgröße von 200 bis 1000 Kurbelwellenumdrehungen haben. 10

3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß in der Zeit, während der Fehlerkennungszähler (29) läuft, keine Warnlampe (22) angesteuert wird, auch wenn die Grenzwert-Aussetzeranzahl durch die Intervall-Aussetzeranzahl nach Ablauf des ersten Zählintervalls überschritten ist. 15

4. Verfahren nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, daß dieser Zustand durch ein nach Ablauf des ersten Zählintervalls (37) gesetztes Merkflag (45) bestimmt ist, das beim Auftreten eines Fahraktionssignals (48) oder beim Ablauf des zweiten Zählintervalls (44) zurückgesetzt wird. 20 25

5. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, daß mit dem Auftreten eines Fahraktionssignals (48) der Fehlerkennungszähler (29) auf Null gesetzt wird und/oder eine bestimmte Maskierzeit (50) gestartet wird, während der die Verbrennungsaussetzererkennung, insbesondere der Aussetzerzähler (15) und der Fehlerkennungszähler (29), deaktiviert werden. 30

6. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, daß der zweite Zählvorgang mit einem vorgegebenen Anfangswert (42) gestartet wird. 35

7. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 6, dadurch gekennzeichnet, daß für den Fall, wenn ein Fahraktionssignal (48) bei gestartetem Fehlerkennungszähler (29) im ersten Zählintervall (37) auftritt, dieses Zählintervall (37) um die vorhergehende Einschaltintervalldauer des Fehlerkennungszählers (29) verlängert wird. 40

8. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 7, dadurch gekennzeichnet, daß ein Plausibilitätssignal (Einheit 34) mit der gleichen Eingriffswirkung wie das Fahraktionssignal (48) erzeugt wird, dergestalt, daß kurze aufeinanderfolgende, dritte Zählintervalle beobachtet werden und die jeweils in einem dritten, kurzen Zählintervall auftretende Aussetzeranzahl als Plausibilitäts-Aussetzeranzahl mit einer maximal zulässigen Kurzzeit-Grenzwert-Aussetzeranzahl verglichen wird, wobei beim Überschreiten der Kurzzeit-Grenzwert-Aussetzeranzahl das Plausibilitätssignal erzeugt wird. 50 55

9. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 8, dadurch gekennzeichnet, daß die Grenzwert-Aussetzeranzahl und/oder die Kurzzeit-Grenzwert-Aussetzeranzahl in Abhängigkeit vom Betrieb der Brennkraftmaschine ständig neu berechnet und/oder aus Kennfeldern ausgelesen werden. 60

10. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 9, dadurch gekennzeichnet, daß als untypische Veränderung (40) im ersten Zählintervall (37) zum Start des Fehlerkennungszählers (29) ein schneller Anstieg des Aussetzerzählerstandes oder eine Inhomogenität in der Art eines Knicks im Verlauf des 65

Aussetzerzählerstandes ermittelt wird.

11. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 10, dadurch gekennzeichnet, daß dynamische Fahraktionen über Beschleunigungssensoren und/oder schnelle Drosselklappen- oder Gaspedalstellungsänderungen ermittelt werden.

12. Vorrichtung zur Durchführung des Verfahrens nach einem der Ansprüche 1 bis 11, mit einer Einrichtung zur Erzeugung von Fahraktionssignalen (48) und/oder Plausibilitätssignalen (Einheit 34, 35) und mit einer Einheit (12) zur Ermittlung von Aussetzersignalen, wobei 15

von dieser Einheit (12) einem Aussetzerzähler (15) die Aussetzersignale zugeführt werden, die dort aufsummiert werden, der Aussetzerzähler (15) von einer Zählintervallsteuerung (16) zur Realisierung erster Zählintervalle (37) aufeinanderfolgend gestartet und zurückgesetzt wird, 20

der Aussetzerzähler (15) mit einem Vergleich (19) verbunden ist, der am Ende jedes Zählintervalls (37) den Zählerstand als Intervall-Aussetzeranzahl mit einer vorgegebenen Grenzwert-Aussetzeranzahl (21) vergleicht, 25

mit dem Vergleich (19) eine Warnlampe (22) verbunden ist, die beim Überschreiten der Grenzwert-Aussetzeranzahl angesteuert und eingeschaltet wird, 30

dadurch gekennzeichnet, daß als weiterer Zähler ein Fehlerkennungszähler (29) vorgesehen ist, der mit einem Timer (27) und mit dem Aussetzerzähler (15) verbunden ist und dem die Aussetzersignale zugeführt werden, und daß der Timer (27) mit einer Einheit (24) zur Erkennung untypischer Veränderungen im Verlauf des Aussetzerzählerstandes verbunden ist und beim Auftreten solcher Veränderungen der Timer (27) und der Fehlerkennungszähler (29) durch ein Signal gestartet werden, 35

wobei beim Auftreten eines der genannten Fahraktionssignale oder Plausibilitätssignale der momentane Zählerstand des Fehlerkennungszählers (29) vom Zählerstand des Aussetzerzählers (15) abgezogen und der Timer (27) und der Fehlerkennungszähler (29) zurückgesetzt werden. 40

Hierzu 4 Seite(n) Zeichnungen



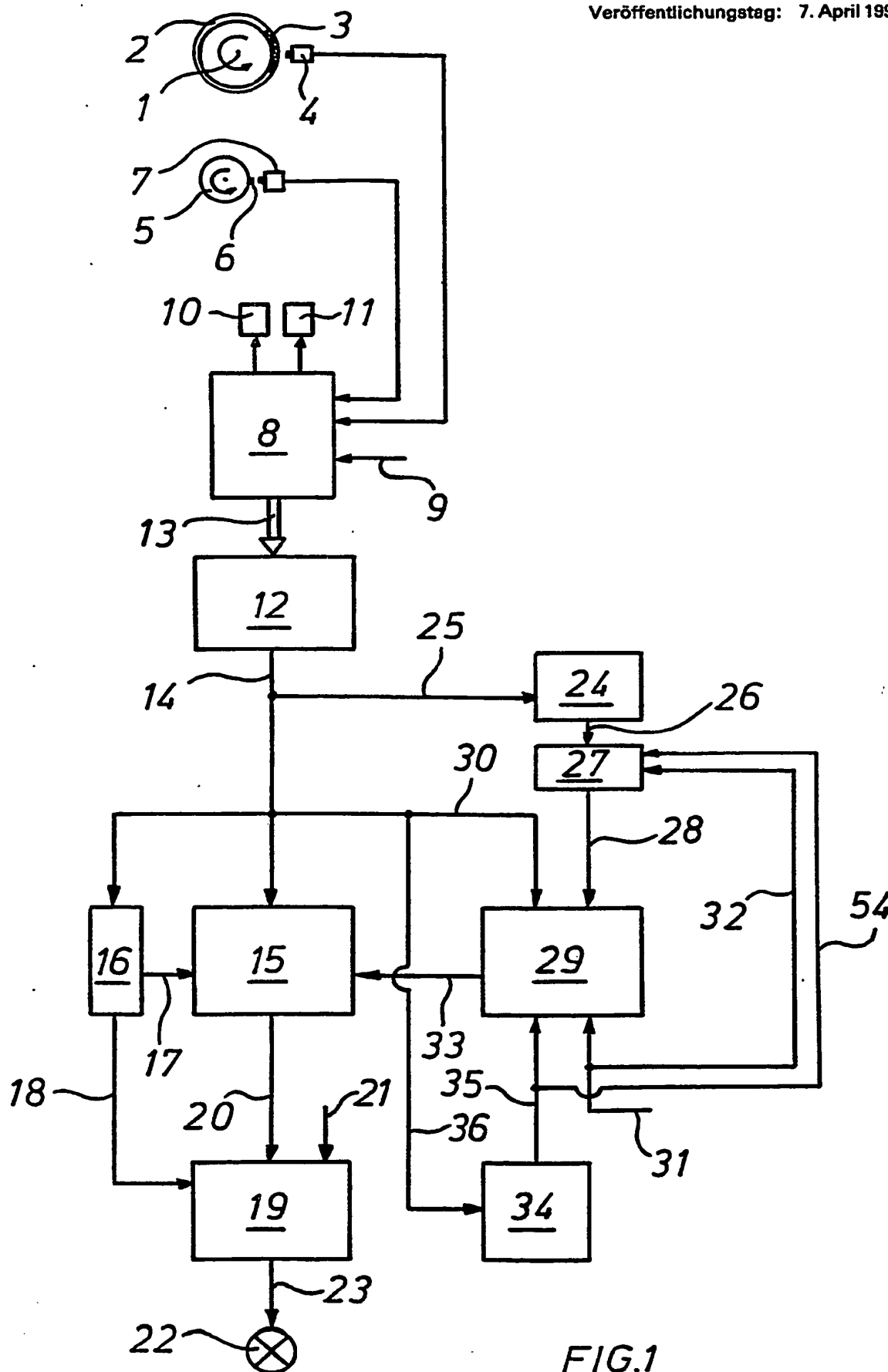


FIG.1

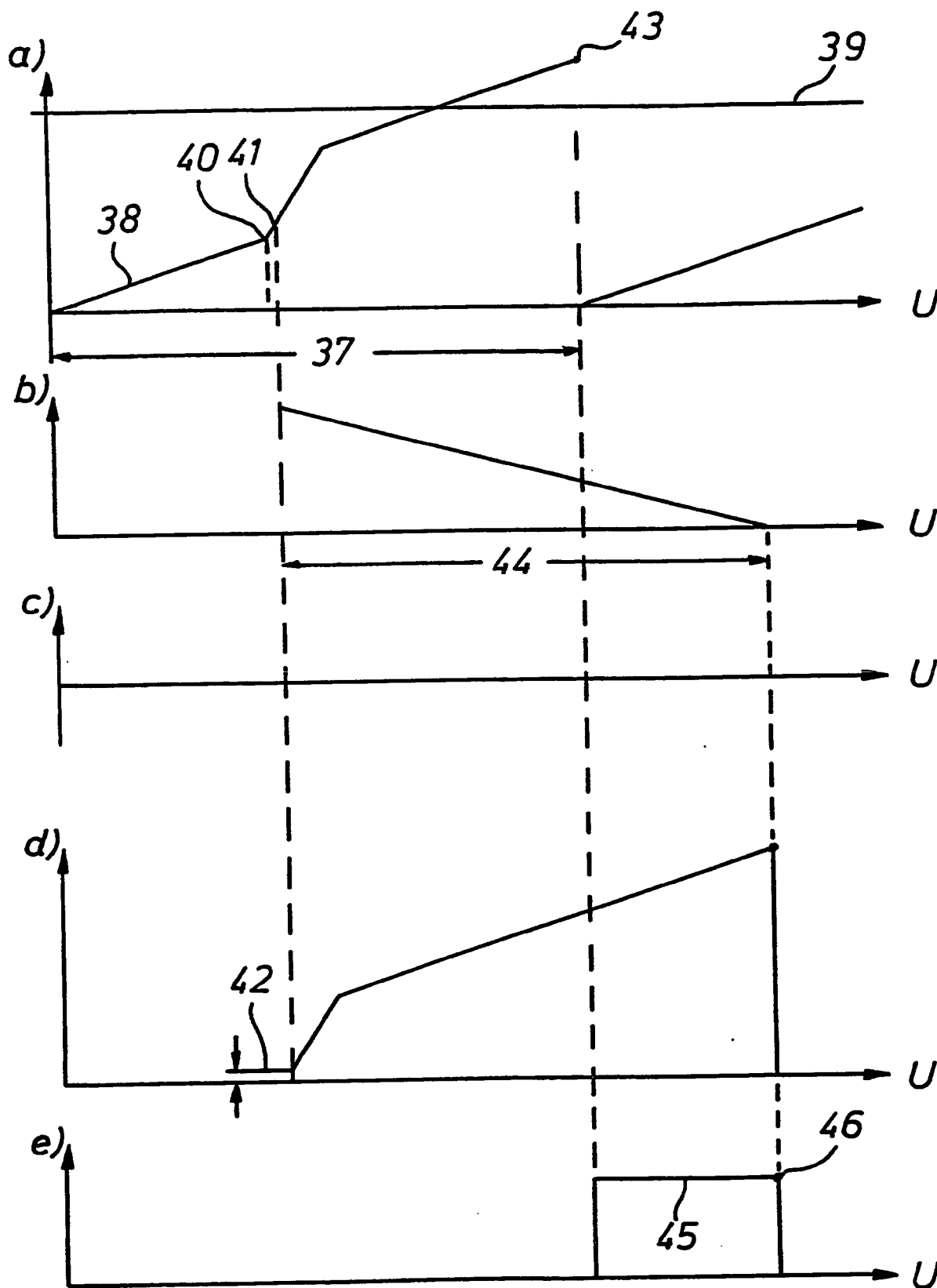


FIG. 2

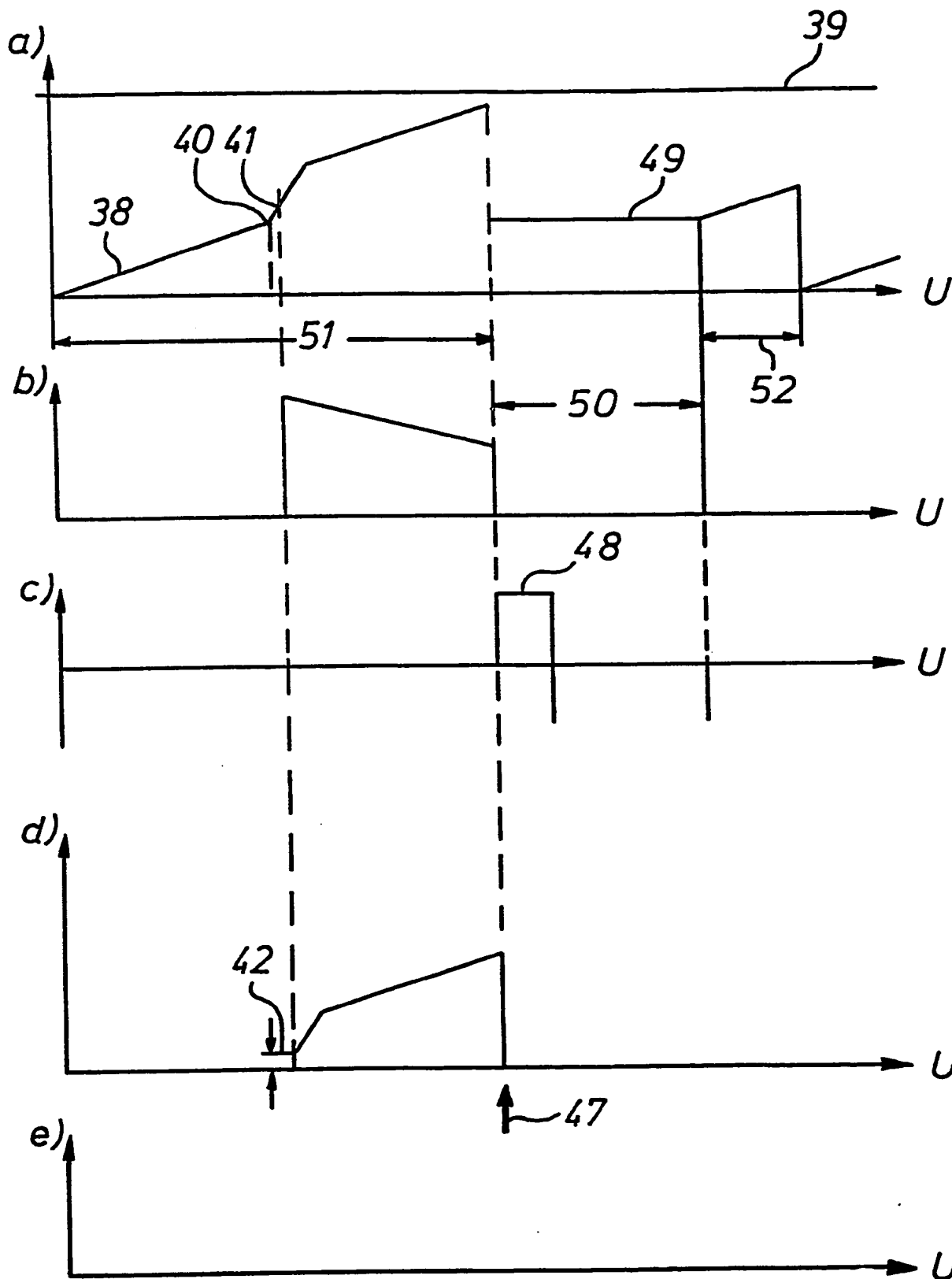


FIG. 3

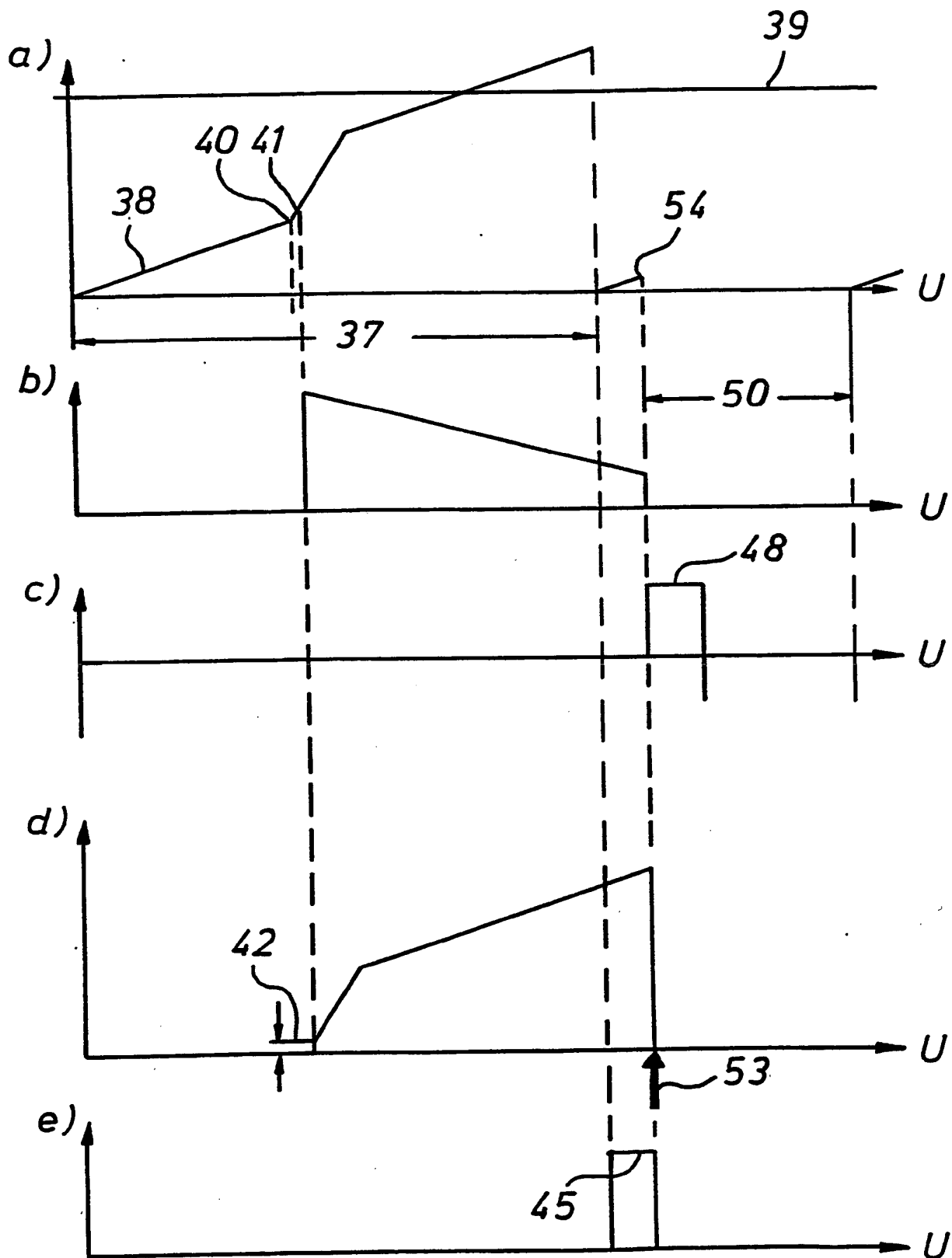


FIG. 4



US005602331A

**United States Patent** [19]**Prevost**[11] **Patent Number:** **5,602,331**[45] **Date of Patent:** **Feb. 11, 1997**[54] **ENGINE MISFIRE DETECTION WITH CASCADE FILTER CONFIGURATION**[75] **Inventor:** John M. Prevost, Jackson, Mich.[73] **Assignee:** Chrysler Corporation, Auburn Hills, Mich.[21] **Appl. No.:** 468,113[22] **Filed:** Jun. 6, 1995[51] **Int. Cl.<sup>6</sup>** ..... **G01M 15/00**[52] **U.S. Cl.** ..... **73/116; 123/370; 123/419; 364/431.07**[58] **Field of Search** ..... **73/116, 117.2, 73/117.3; 364/431.07, 431.08; 123/370, 371, 419**[56] **References Cited****U.S. PATENT DOCUMENTS**

3,908,366	9/1975	Masaki	73/117.3
4,179,922	12/1979	Bouverie et al.	73/116
4,186,701	2/1980	Suzuki et al.	123/119 A
4,271,811	6/1981	Suzuki et al.	123/571
4,308,519	12/1981	Garcea et al.	340/53
4,461,257	7/1984	Hosaka et al.	123/419
4,488,528	12/1984	Morikawa	123/425
4,491,110	1/1985	Bone et al.	123/425
4,532,592	7/1985	Citron et al.	364/431.05
4,562,818	1/1986	Kohama et al.	123/478
4,606,224	8/1986	Tedeschi et al.	73/117.3
4,716,874	1/1988	Hilliard et al.	123/425
4,782,692	11/1988	Peden et al.	73/117.3
4,846,129	7/1989	Noble	123/425
4,862,093	8/1989	Jiewertz	324/464
4,886,029	12/1989	Lill et al.	123/479
4,928,228	5/1990	Fujimoto et al.	364/431.09
4,930,479	6/1990	Osawa et al.	123/436
4,930,481	6/1990	Fujimoto et al.	123/481
4,932,379	6/1990	Tang et al.	73/117.3
4,936,277	6/1990	Deutsch et al.	123/436
4,941,445	7/1990	Deutsch	123/414
4,976,241	12/1990	Ishida et al.	123/425
4,987,711	1/1991	Noji et al.	52/1

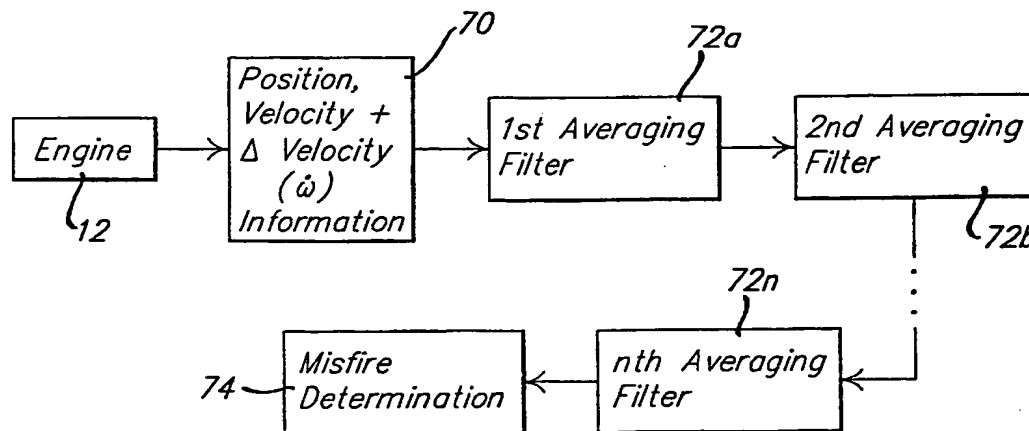
4,987,771	1/1991	Iwata	73/117.3
5,021,960	6/1991	Manaka et al.	364/431.01
5,044,194	9/1991	James et al.	73/116
5,044,195	9/1991	James et al.	73/117.3
5,056,360	10/1991	Dosdall et al.	73/116
5,095,742	3/1992	James et al.	73/116
5,109,695	5/1992	James et al.	73/117.3
5,117,681	6/1992	Dosdall et al.	73/116
5,144,927	9/1982	Denz	123/425
5,231,869	8/1993	Klenk et al.	73/116
5,361,629	11/1994	McCombie	73/117.3
5,392,641	2/1995	McCombie	73/117.3
5,440,922	8/1995	Ichikawa	73/117.3

*Primary Examiner*—Richard Chilcot*Assistant Examiner*—George M. Dombroske*Attorney, Agent, or Firm*—Mark P. Calcaterra

[57]

**ABSTRACT**

An apparatus and method are provided for detecting cylinder misfires in an internal combustion engine of a motor vehicle which provides a good signal to noise ratio and is capable of distinguishing from noise related events such as misfire induced bobble and harsh clutching maneuvers. Crankshaft rotation is sensed and crankshaft velocities are measured for each cylinder. Changes in angular velocity are determined and correspond to each of a plurality of cylinder firing events. With a first averaging filter, angular velocity changes are sorted over a predetermined series of cylinder firings and the two middle angular velocity changes are averaged to provide an average change in velocity value. A deviation is determined between the change in angular velocity for a selected cylinder and the average change in velocity. With a second averaging filter, the deviations from the first averaging filter are sorted over a series of cylinder firings and the two middle most deviations are averaged to provide an average change of deviation thereof. A second deviation is determined between the change in the first deviation for a selected cylinder and the average deviation value. The second deviation is compared to a threshold value and a misfire event is determined for the selected cylinder based on the comparison. Any number of two or more cascade connected average filters may be employed.

**12 Claims, 10 Drawing Sheets**

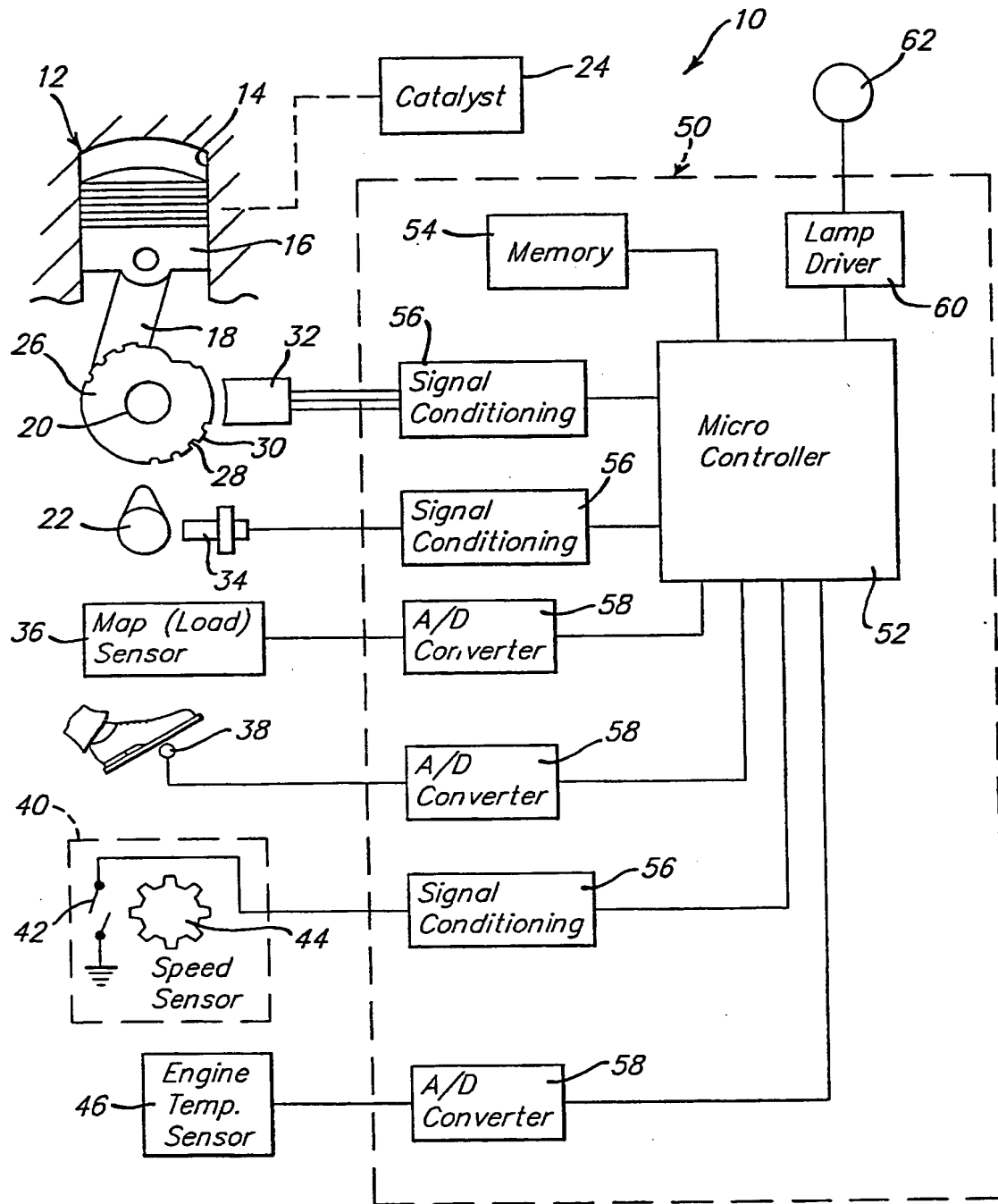
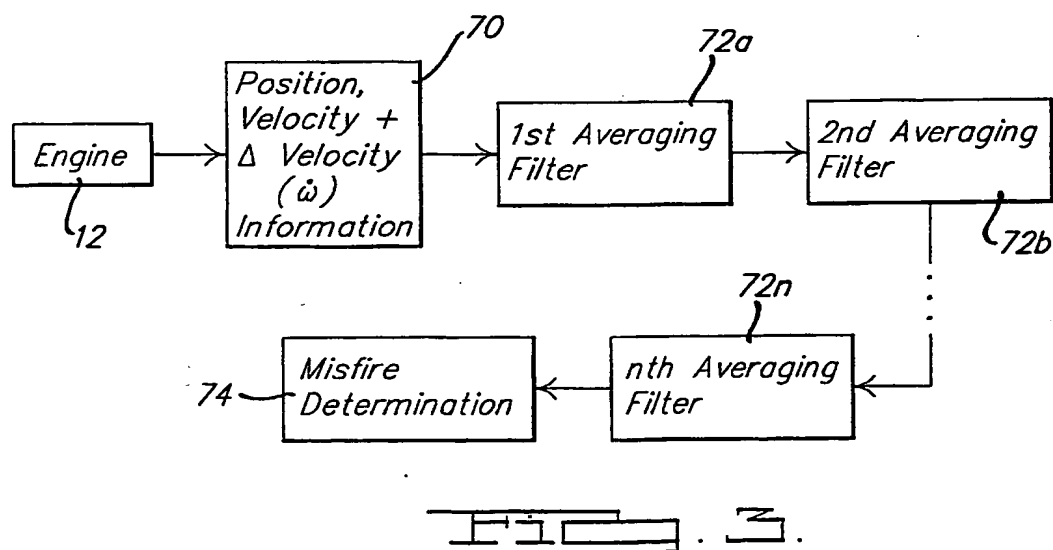
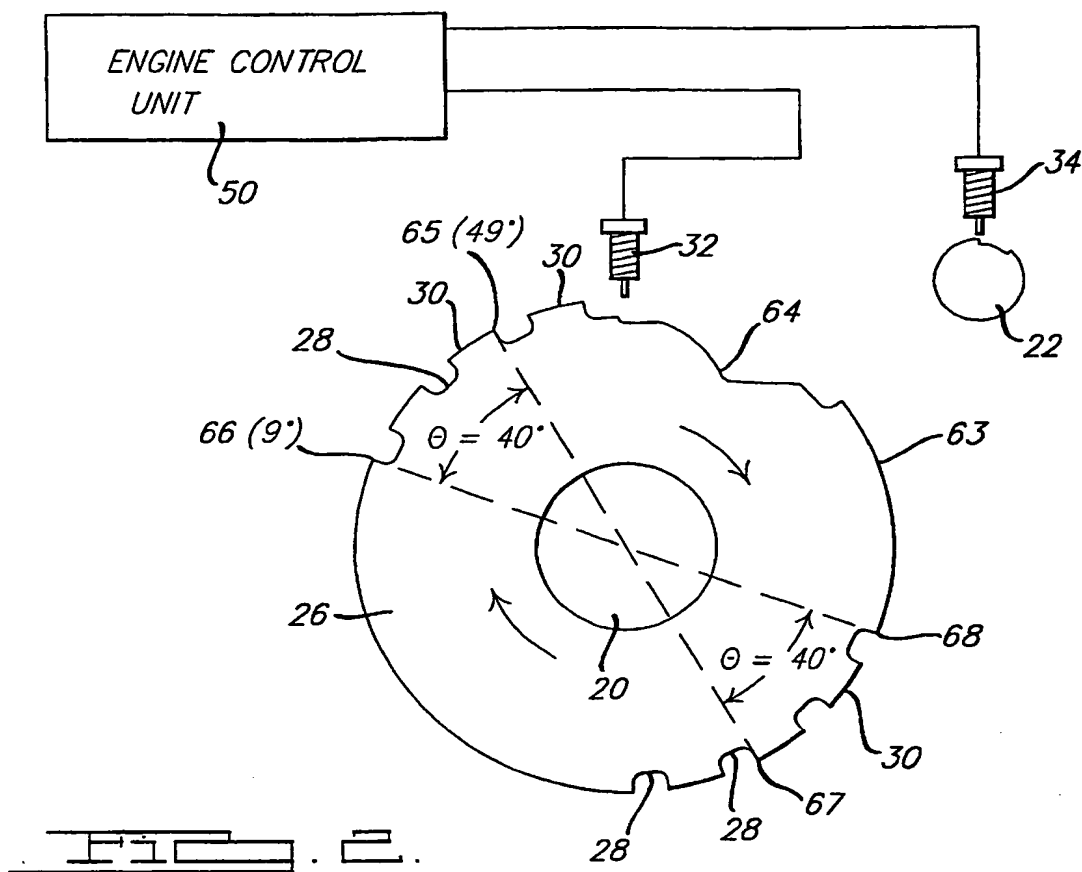


FIG. 1.



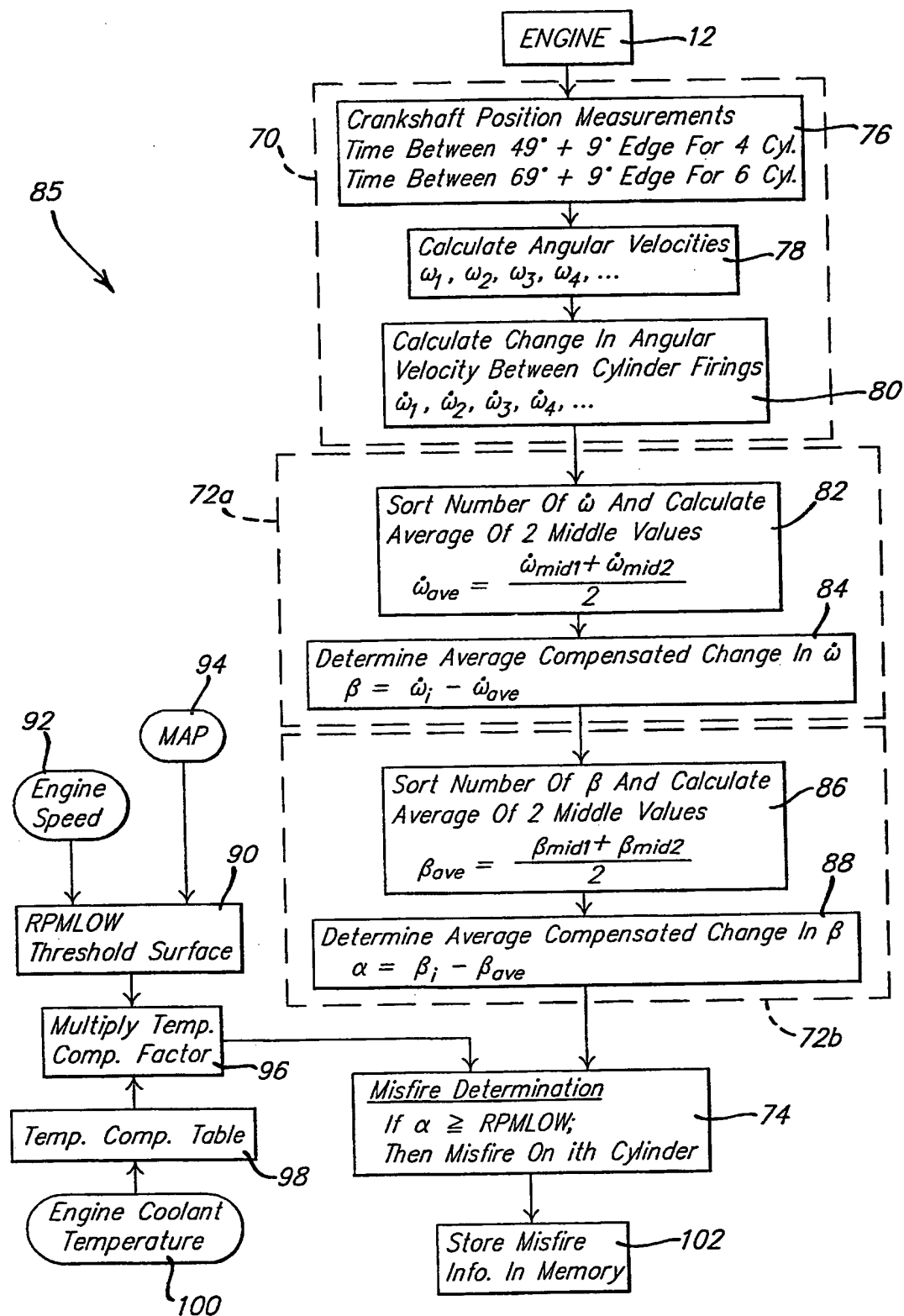
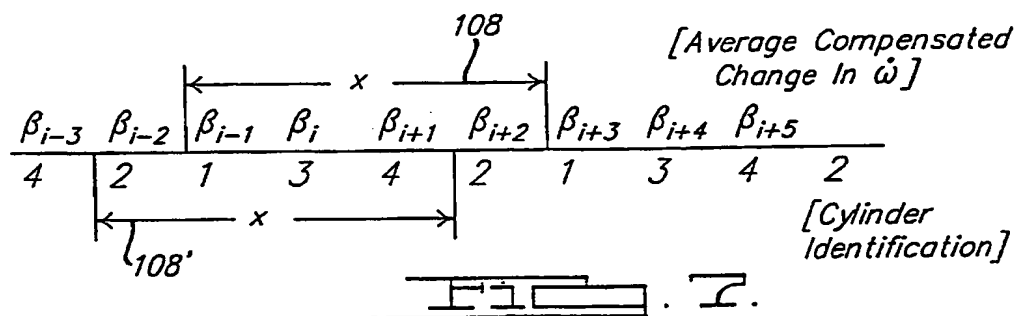
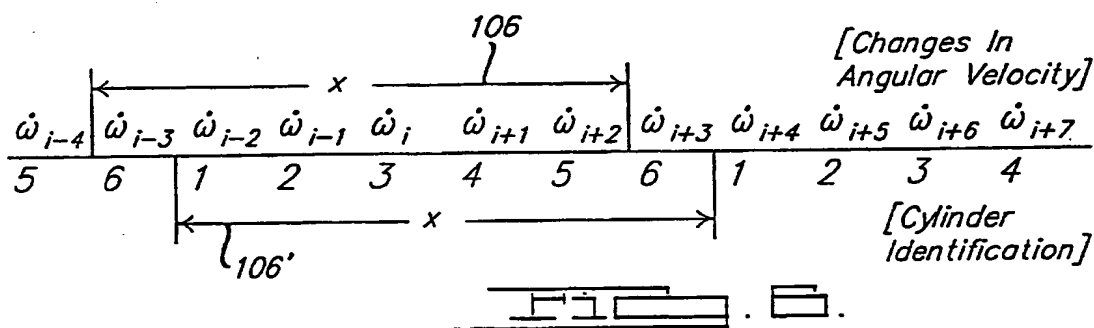
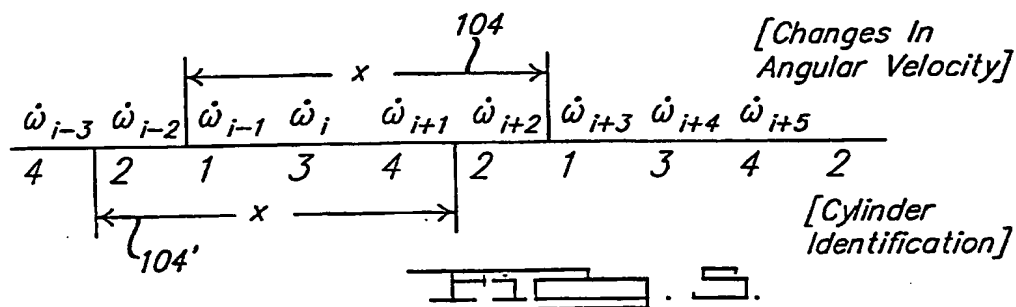
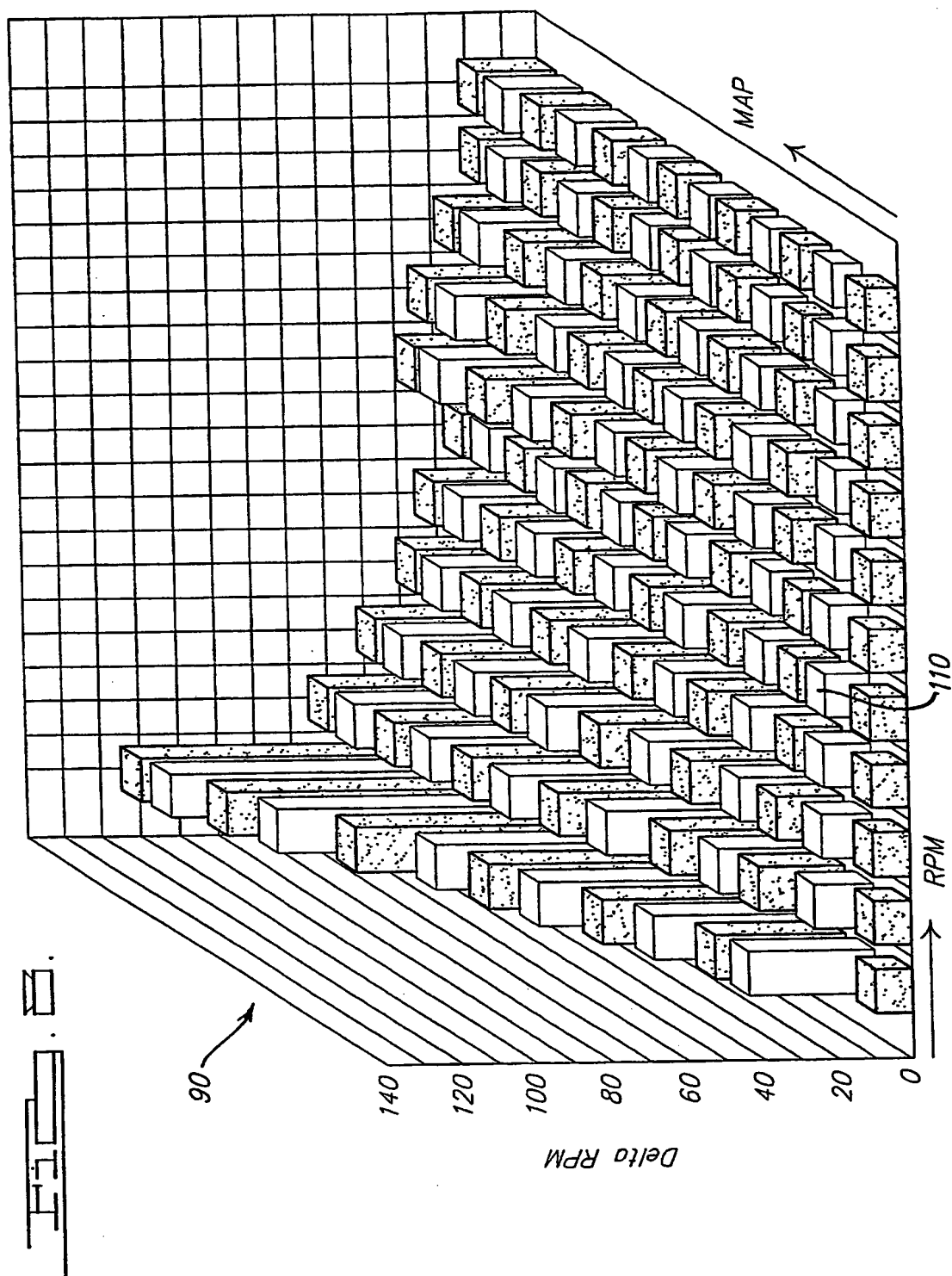
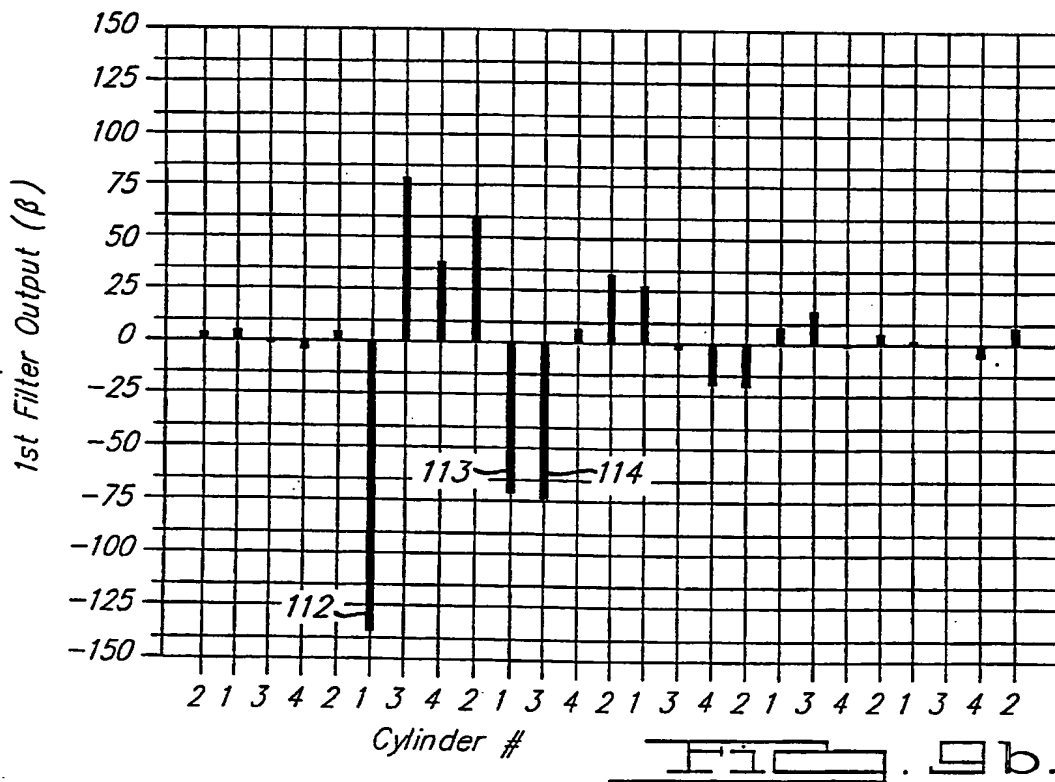
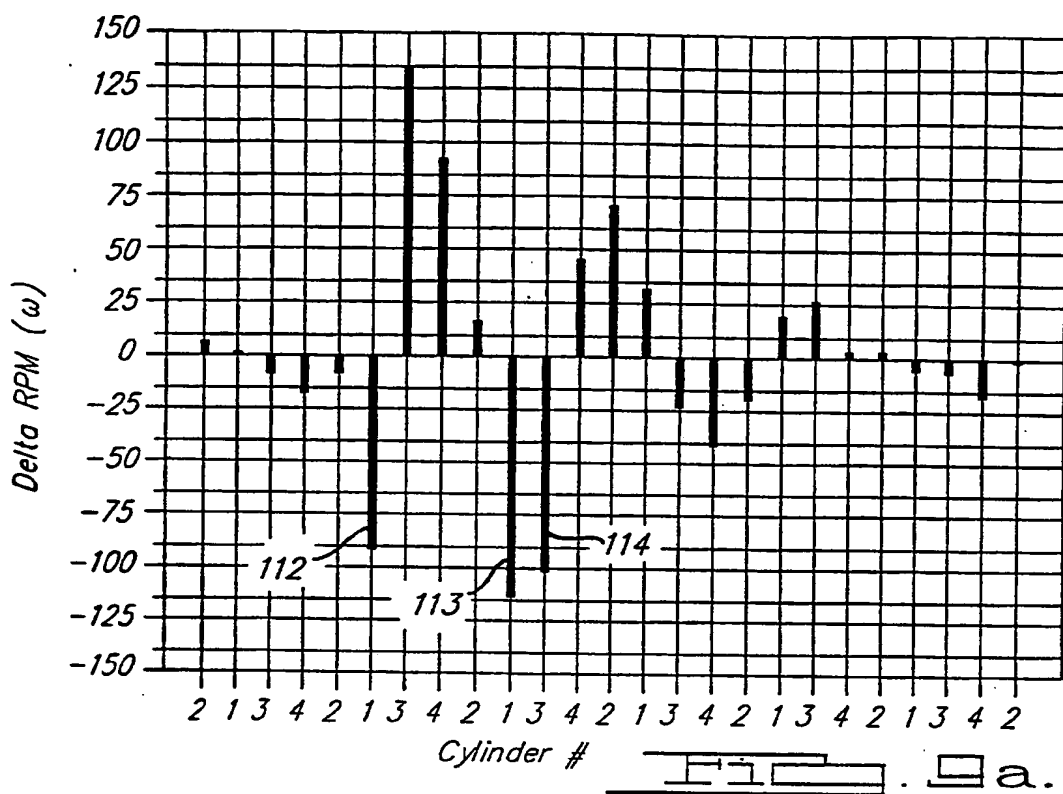


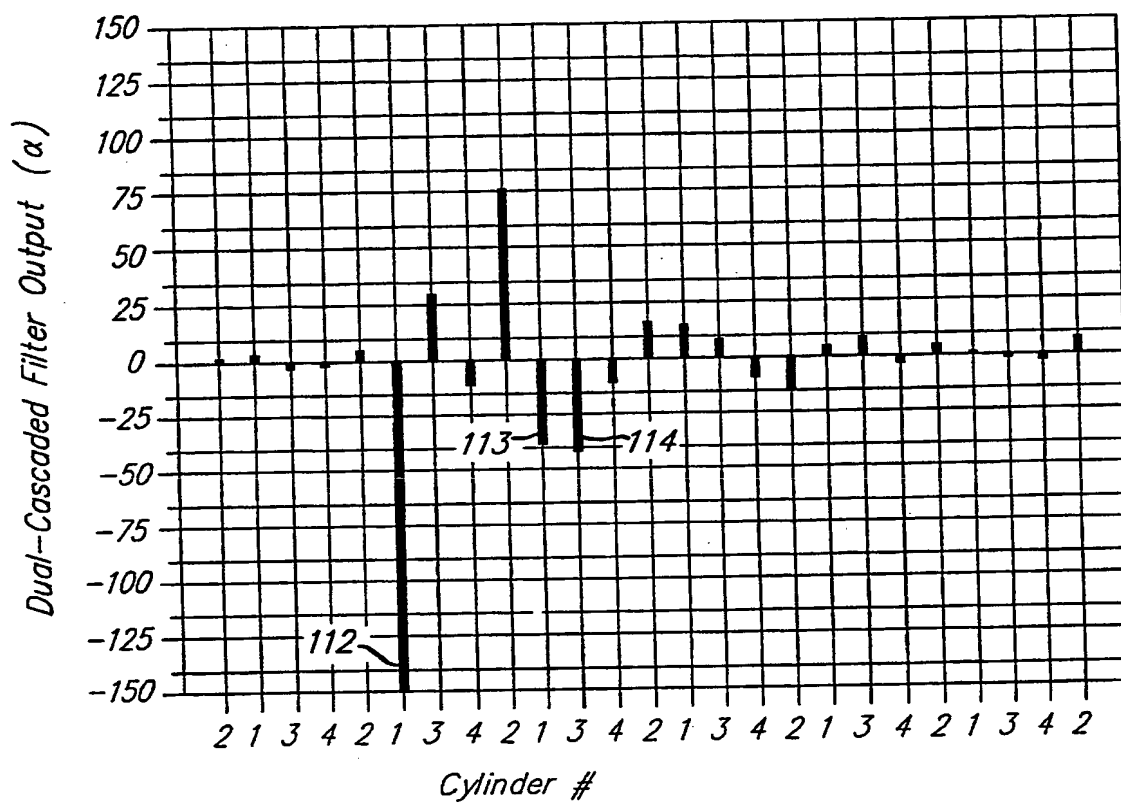
FIG. 4.











Hi [redacted] . C.

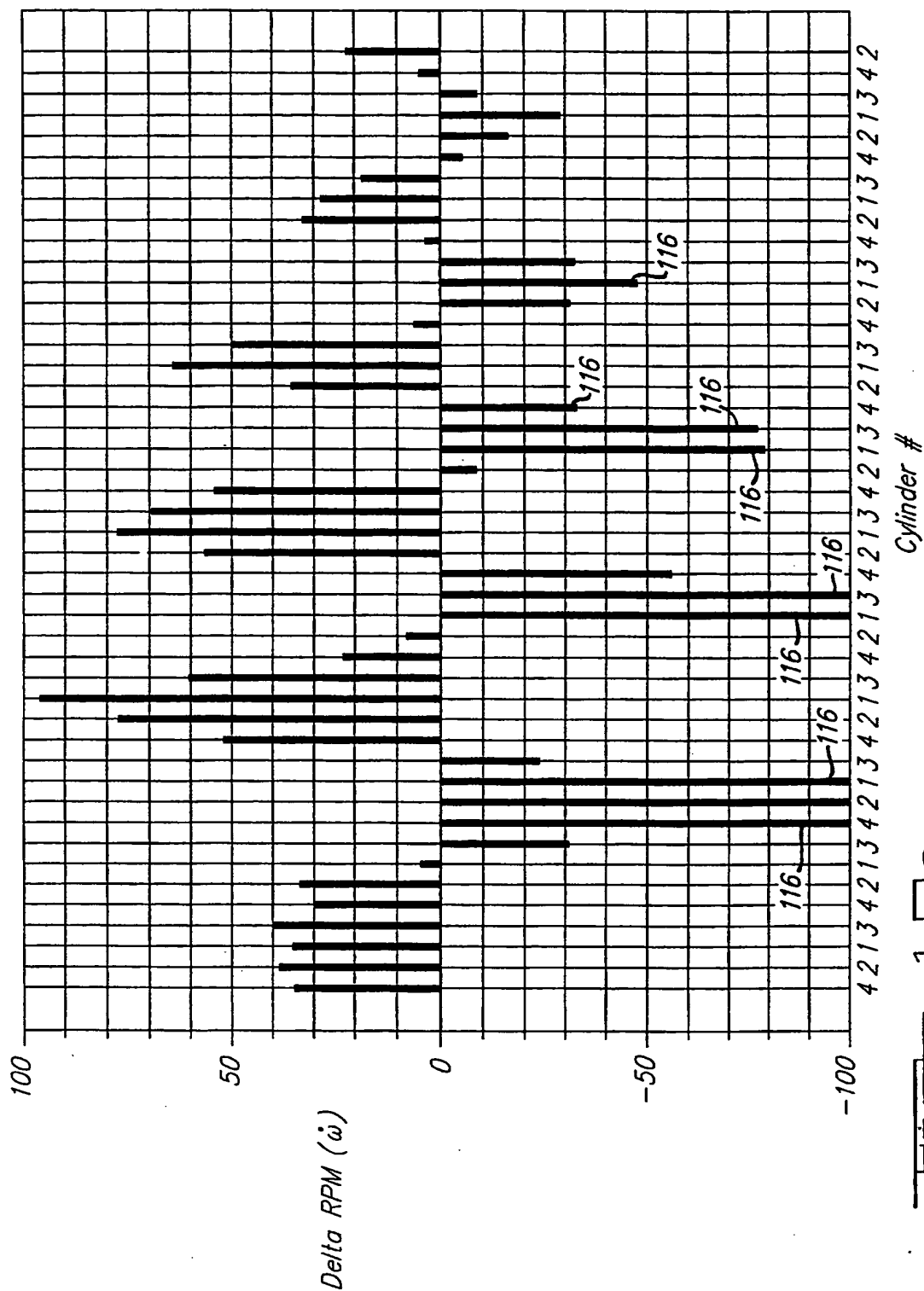


FIG. 10a.

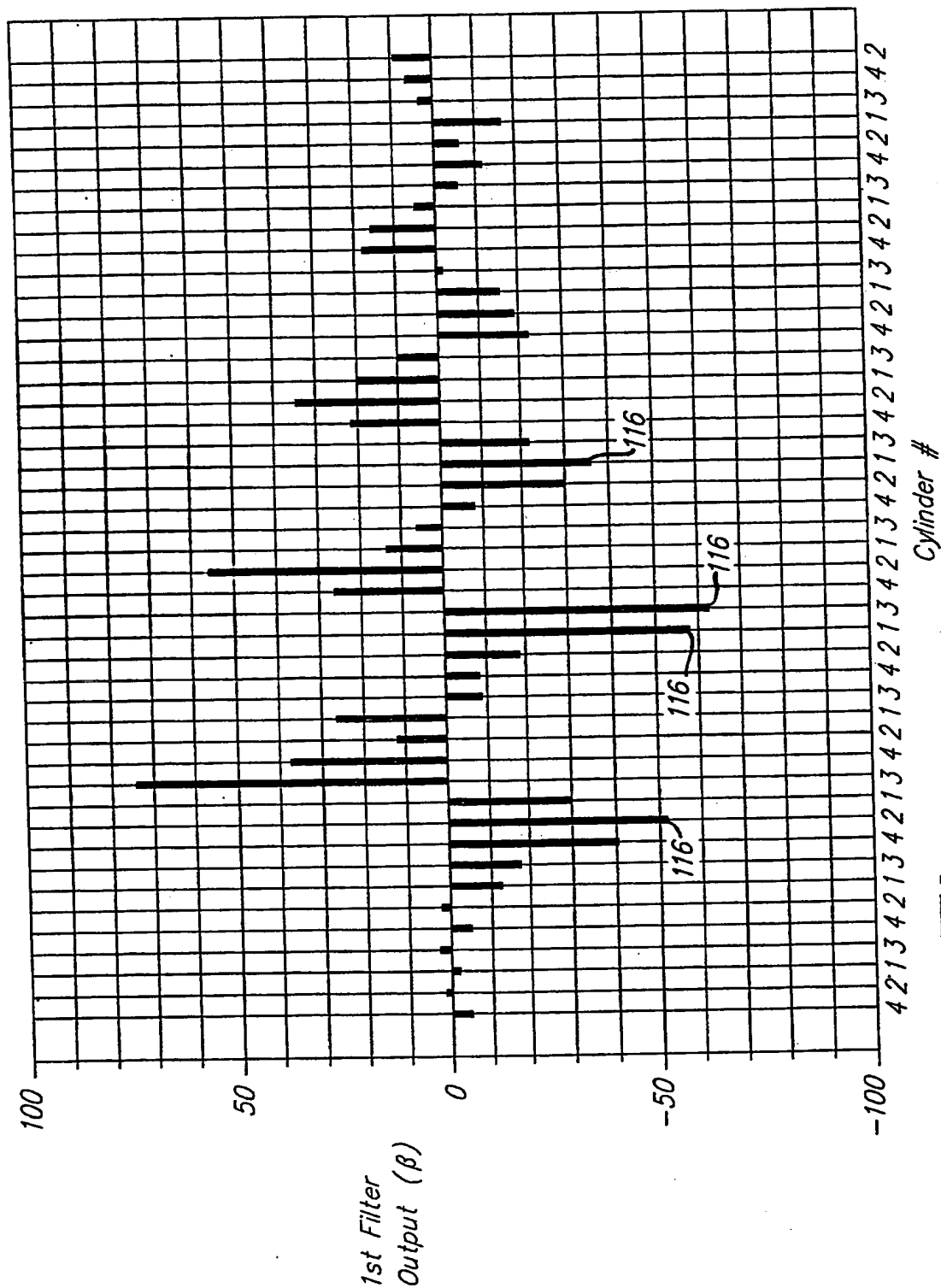


FIG. 10b.

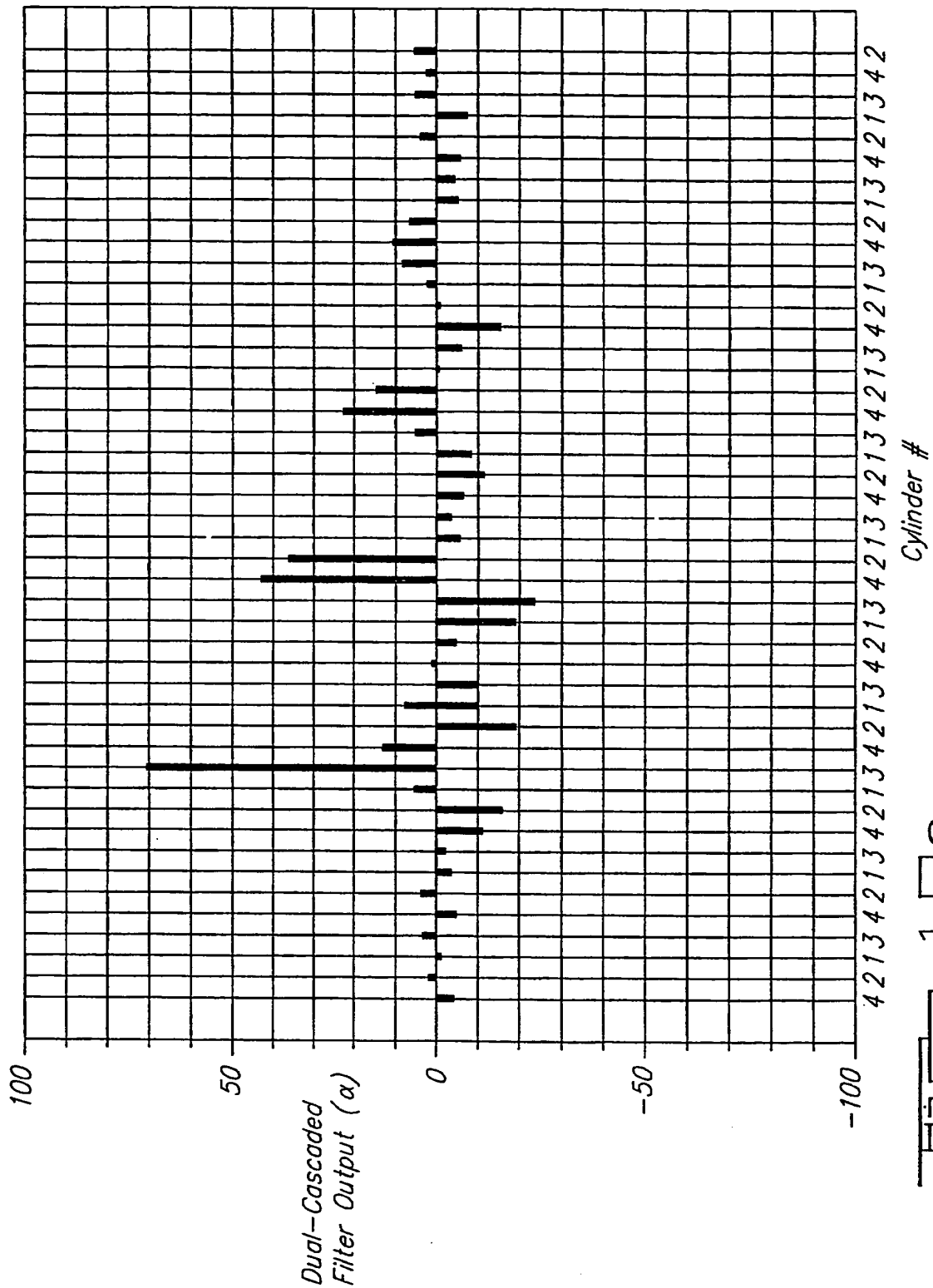


FIG. 10C.

## ENGINE MISFIRE DETECTION WITH CASCADE FILTER CONFIGURATION

### CROSS-REFERENCE TO RELATED APPLICATIONS

This application relates to the following simultaneously filed patent applications titled "Engine Misfire Detection with Compensation for Normal Acceleration of Crankshaft" having Ser. No. 468,117 and application titled "Engine Misfire Detection with Rough Road Inhibit" having Ser. No. 469,040. These related applications are hereby incorporated by reference.

### BACKGROUND OF THE INVENTION

#### 1. Technical Field

The present invention relates generally to internal combustion engines and, more particularly, to a misfire detection apparatus and method for detecting misfire of individual cylinders in an internal combustion engine.

#### 2. Discussion

The Clean Air Act (1955) required motor vehicle manufacturers to reduce exhaust emissions of carbon monoxide, hydrocarbons, and oxides of nitrogen from light duty motor vehicles. To comply with the Act, most motor vehicle manufacturers generally use catalytic converters on production vehicles to control such exhaust emissions. A catalytic converter typically includes a catalyst and operates at a very high temperature in order to burn unwanted byproducts of combustion so as to reduce hydrocarbons, carbon monoxide and nitrous oxide. However, increased amounts of unburned byproducts that often remain after the occurrence of an engine misfire can lead to damage of the catalytic converter.

More recently, regulatory agencies have proposed that passenger, light-duty and medium-duty motor vehicles with feedback fuel control systems be equipped with a malfunction indicator signal that will inform the motor vehicle operator of any malfunction of an emission-related component that interfaces with an on-board computer of the motor vehicle. It is also proposed or required that an on-board diagnostic system identify the likely area of malfunction. Proposals or requirements have set forth catalyst, misfire, evaporative purge system, secondary air system, air conditioning system refrigerant, fuel system, oxygen sensor, exhaust gas recirculation, and comprehensive component monitoring requirements.

As previously mentioned, misfire of internal combustion engines can cause damage to the catalyst of a catalytic converter. With respect to misfire, the identification of the specific cylinder experiencing misfire may be required. Some regulations provide that the motor vehicle manufacturer specify a percentage of misfires out of the total number of firing events necessary for determining malfunction for: (1) the percent misfire evaluated in a fixed number of revolution increments for each engine speed and load condition which would result in catalyst damage; (2) the percent misfire evaluated in a certain number of revolution increments which would cause a durability demonstration motor vehicle to fail a Federal Test Procedure (FTP) by more than 150% of the applicable standard if the degree of misfire were present from the beginning of the test; and (3) the degree of misfire evaluated in a certain number of revolution increments which would cause a durability demonstration motor vehicle to fail an inspection and maintenance (IM) program tailpipe exhaust emission test.

Current and proposed future regulations are also requiring that motor vehicle manufacturers be able to provide information detailing the occurrence of misfires such as identifying which cylinders are responsible for one or more misfires. The misfire information need be collected and stored in memory so that the stored information may be downloaded at a service center and used to determine the cause of misfires in the vehicle. One misfire detection and identification approach is disclosed in issued U.S. Pat. No. 5,361,629 issued Nov. 8, 1994 and titled "Single Sensor Misfire Detection Apparatus and Method for an Internal Combustion Engine". The above-cited patent is also hereby incorporated by reference. The misfire detection approach in the above-cited patent senses rotation of a crankshaft and calculates a crankshaft velocity based on the sensed rotation. The calculated crankshaft velocity or a compensated velocity is compared to a predetermined crankshaft velocity range to determine if misfire occurred.

When an engine cylinder misfires, a corresponding drop in engine speed will normally result. A relatively large drop in engine speed is usually indicative of a misfire event. However, a number of engine operating conditions may result in transients which sometimes tend to give the same effect as a misfire, even though a misfire event did not occur for the corresponding cylinder at issue. One example of a transient condition may occur when harsh clutching maneuvers are performed on a vehicle equipped with a manual transmission. When this occurs, torsional forces and vibrations transmitted through the engine crankshaft are induced to the engine speed pickup and may actually be large enough to read as misfire events with some conventional misfire detection approaches. Additionally, the occurrence of a misfire event for a corresponding cylinder can sometimes cause transients within the engine or vehicle which in turn may be sensed and detected as false misfires.

It is therefore one object of the present invention to provide for an improved apparatus and method of detecting cylinder misfires in an internal combustion engine.

It is another object of the present invention to provide for a misfire detection apparatus and method which is capable of detecting cylinder misfires for an internal combustion engine and which is capable of filtering out unwanted noise caused by engine transients to thereby reduce possible false engine misfire reports.

It is yet another object of the present invention to provide for a misfire detection apparatus and method which reduces the noise effects that can be caused by the occurrence of a misfire event.

It is a further object of the present invention to provide for a misfire detection apparatus and method which compensates for normal engine accelerations, and realizes a good signal to noise ratio.

### SUMMARY OF THE INVENTION

To achieve the foregoing objectives, the present invention is an apparatus and method for detecting misfire in cylinders of an internal combustion engine of a motor vehicle. The apparatus and method of the present invention are advantageously capable of detecting cylinder misfires with good signal to noise ratio and capable of distinguishing misfires from noise related events such as misfire induced bobble and harsh clutching maneuvers. Crankshaft rotation is sensed and crankshaft velocities are measured for each cylinder. Changes in angular velocity are determined and correspond to each of a plurality of cylinder firing events. The apparatus



3

of the present invention includes at least a first averaging filter cascade connected to a second averaging filter. With the first averaging filter, angular velocity changes are sorted over a predetermined series of cylinder firings and the two middle angular velocity changes are averaged to provide an average change in velocity value. A deviation is determined between the average change in velocity and the current change in velocity for a selected cylinder. With the second averaging filter, deviations from the first averaging filter are sorted over a series of cylinder firings and the two middle deviations are averaged to provide an average change in the first deviation. A second deviation is determined between the change in the first deviation for a selected cylinder and the average deviation value. The second deviation is compared to a threshold value and a misfire event is determined for the selected cylinder based on the comparison. Additional cascade connected averaging filters may be employed to generate an output which is compared with the threshold value to determine the occurrence of a misfire event.

### BRIEF DESCRIPTION OF THE DRAWINGS

Other objects and advantages of the present invention will become apparent to those skilled in the art upon reading the following detailed description and upon reference to the drawings in which:

FIG. 1 is an overall block diagram illustrating a misfire detection apparatus according to the present invention;

FIG. 2 is a pictorial diagram illustrating an engine crankshaft and camshaft for providing measurements for use with the misfire detection apparatus of FIG. 1;

FIG. 3 is a block diagram illustrating the general concept of misfire detection according to the present invention;

FIG. 4 is a detailed flow chart illustrating the overall methodology for detecting cylinder misfires in a multi-cylinder engine according to the present invention;

FIG. 5 illustrates a series of changes in angular velocity measurements as selected for a four-cylinder engine;

FIG. 6 illustrates a series of changes in angular velocity measurements as selected for a six-cylinder engine;

FIG. 7 illustrates a series of changes in average compensated values  $\beta$  as selected for a four-cylinder engine;

FIG. 8 is a three-dimensional mapped surface illustrating an example of RPMLOW threshold values for use in the present invention;

FIGS. 9a-9c illustrate an example of event data taken during a misfire induced bobble condition; FIG. 9a shows measured changes in angular velocity; FIG. 9b shows calculated outputs from a first averaging filter; FIG. 9c shows outputs from a second averaging filter for detecting cylinder misfires with the novel misfire detection of the present invention; and

FIGS. 10a-10c illustrate event data taken during a harsh clutch maneuver absent any misfire event; FIG. 10a shows measured changes in angular velocity; FIG. 10b shows outputs from the first averaging filter; FIG. 10c shows outputs from the second averaging filter for detecting cylinder misfires with the novel misfire detection of the present invention.

### DETAILED DESCRIPTION OF THE PREFERRED EMBODIMENTS

Turning now to FIG. 1, an overall block diagram illustrating the misfire detection apparatus 10 according to the present invention is shown therein. The misfire detection

4

apparatus 10 is used on an internal combustion engine indicated by reference numeral 12, of a motor vehicle (not shown). A partial cut-away view of engine 12 is shown illustrating one of a multiple of cylinders 14 in the engine 12. As illustrated, a piston 16 is disposed in the cylinder 14 and is operatively connected by a connecting rod 18 to a crankshaft 20. A camshaft 22 is used to open and close at least one valve (not shown) of the cylinder 14 for various strokes of the piston 16. The piston 16 is illustrated in the expansion (power) stroke of a four stroke engine. In such a four stroke engine, the strokes include intake, compression, expansion (power), and exhaust. During the exhaust stroke, exhaust gases flow from the cylinder 14 via at least one valve and through the exhaust system (not shown). Although the preferred embodiment of apparatus 10 shows a four stroke engine, the apparatus 10 can also be applied to other internal combustion engines, such as a two stroke engine. It should also be appreciated that the apparatus 10 can also be applied to any spark-ignited or diesel engine. It should be appreciated that a spark plug is present in the preferred embodiment, although it is not illustrated herein. Additionally, a catalyst 24 of a catalytic converter (not shown) is illustrated pictorially as part of the exhaust system.

The misfire detection apparatus 10 further includes a sensor target 26 operatively connected to the crankshaft 20. The sensor target 26 has at least one, and preferably a plurality of trip points, which in the preferred embodiment are provided as slots 28, formed by teeth 30. The apparatus 10 also includes a crankshaft sensor 32 for communication with the sensor target 26 and a camshaft sensor 34 in communication with the camshaft 22. The misfire detection apparatus 10 further includes a manifold absolute pressure (MAP) sensor 36, throttle sensor 38, a vehicle speed sensor 40 and an engine temperature sensor 46. The outputs of the sensors 36, 38, 40 and 46 communicate with an engine control unit, generally indicated by 50.

The engine control unit 50 includes a microcontroller 52, memory 54, signal conditioning circuitry 56 and analog-to-digital (A/D) converters 58 to process outputs from the various sensors according to the misfire detection methodology to be described hereinafter. In the preferred embodiment, the outputs of crankshaft sensor 32, camshaft sensor 34, and vehicle speed sensor 40 communicate with the microcontroller 52 via appropriate signal conditioning circuitry 56 which is particularized to the type of sensor employed. The output of the MAP sensor 36, throttle position sensor 38 and engine temperature sensor 46 communicate with the microcontroller 52 via the A/D converters 58. The engine control unit 50 also includes a lamp driver 60, which takes the output of the microcontroller 52 and drives an output display such as an indicator light or driver warning lamp 62. Memory 54 is a generic memory which may include Random Access Memory (RAM), Read Only Memory (ROM) or other appropriate memory. It should also be appreciated that the engine control unit 50 also includes various timers, counters and like components for the misfire detection methodology of the present invention.

Referring to FIG. 2, a pictorial diagram illustrating the crankshaft 20, camshaft 22, sensor target 26, crankshaft sensor 32 and camshaft sensor 34 in communication with the engine control unit 50 is provided for the misfire detection methodology. According to one embodiment, the sensor target 26 is formed by slots 28 which are cut into a counterweight 63. The counterweight 63 is attached to or incorporated on a pulley or wheel (not shown) such as by welding, although other suitable means may be employed to securely fasten the counterweight 63 to the wheel. The wheel, in turn, is affixed to and driven by the crankshaft 20.

5

According to one embodiment of a four-cylinder engine, the engine 12 has four cylinders 14 oriented into a straight line configuration, resulting in a one hundred eighty degree (180°) expansion stroke for each cylinder 14. The firing order for the four cylinders 14 is 1 3 4 2. Crankshaft velocity measurements are taken by measuring the amount of time expired over an angular displacement  $\theta$  for a forty degree (40°) interval of the expansion stroke for each cylinder 14 of the engine 12. Preferably, the forty degree (40°) interval is near the end of the expansion stroke. As illustrated in FIG. 2, a signature slot 64 is cut into the counterweight 63 such that a first edge 65 is a forty-nine degree (49°) edge. At least one slot 28 is cut in the counterweight 63 after the first edge 65 has formed a second edge 68 at a nine degree (9°) edge. Other slots 28 may also be cut in the counterweight 63 between the first and second edges 65 and 66 for use for ignition timing or other purposes. It should be appreciated that the first edge 65 identifies the starting location for measuring velocity corresponding to cylinder numbers 1 and 4 of the cylinders 14.

The sensor target 26 includes at least two other slots 28 to form a third edge 67 and a fourth edge 68 opposite or one hundred eighty degrees (180°) from the first edge 65 and second edge 66, respectively. Optionally, other slots 28 may also be cut in the counterweight 63 between the third and fourth edges 67 and 68 for use for ignition timing or other purposes. It should be appreciated that the third edge 67 identifies the starting location for measuring velocity corresponding to cylinder numbers 3 and 2 of the cylinders 14. It should also be appreciated that the third edge 67 is a forty-nine degree (49°) edge and the fourth edge 68 is a nine degree (9°) edge.

According to another embodiment, a six-cylinder engine has six cylinders in an overlapping configuration resulting in a one-hundred-twenty degree (120°) expansion stroke for each cylinder 14 of engine 12. For the six-cylinder engine, crankshaft velocity measurements are preferably taken over an angular displacement  $\theta$  for a sixty degree (60°) interval of the expansion stroke. The sixty degree (60°) interval is measured from a sixty-nine degree (69°) edge and a nine degree (9°) edge. While four-cylinder and six-cylinder engines are described herein, it should be appreciated that the present invention applies to various other size multi-cylinder engines and other various overlapping cylinder configurations.

The crankshaft sensor 32 is used to measure position markings, namely edges 65-68, for use in determining crankshaft velocity. The crankshaft sensor 32 is mounted near the sensor target 26 and located so that when aligned with edges 66 and 68, a falling edge will occur nine degrees (9°) before piston top dead center (TDC). In one embodiment, the crankshaft sensor 32 may be a hall effect sensor. It should also be appreciated that other sensors such as optical sensors or variable reluctance sensors may also be used according to other embodiments.

The camshaft sensor 34 is used to identify specific cylinder firings. Since the camshaft 22 rotates 360° for every 720° of rotation of crankshaft 20, identification of a given cylinder can be determined. Such identification will assist in pinpointing exactly what cylinder or cylinders are misfiring. Although the preferred embodiment uses a crankshaft position marking and cam sensor and algorithm to determine top dead center (TDC) of the number 1 cylinder, cylinder identification techniques may vary with different engines. It should also be understood that the camshaft sensor 34 and camshaft 25 are conventional components generally known in the art.

6

Turning to FIG. 3, a general illustration of the misfire detection apparatus of the present invention is presented therein. Engine crankshaft position, velocity and velocity change information 70 is determined from engine parameters output from engine 12. The crankshaft position, velocity and velocity change information 70 is used to provide a misfire determination 74 for a corresponding engine cylinder. According to the present invention, information 70 is processed by a plurality of cascade configured averaging filters 72a, 72b, . . . , 72n. More specifically, a first averaging filter 72a receives and processes information 70. A second averaging filter 72b receives an output from the first averaging filter 72a and likewise processes information associated therewith. According to one preferred embodiment of the present invention, two averaging filters 72a and 72b are employed and discussed hereinafter. However, the present invention is applicable to n averaging filters, where n is a number of two or more.

With particular reference to FIG. 4, a flow chart illustrating the overall method 85 for detecting cylinder misfires of engine 12 is shown therein according to the present invention. The misfire detection methodology 85 generally begins at block 76. During operation of engine 12, crankshaft position measurements are taken over a predefined angular displacement  $\theta$  of the crankshaft 20 during an expected cylinder firing for each cylinder 14 of engine 12. The position measurements are preferably obtained by measuring a time interval (T) expired during rotation of the crankshaft 20 through the predefined angular displacement  $\theta$ . This is accomplished by microcontroller 52 starting a timer when crankshaft sensor 32 detects first edge 65 for a four-cylinder engine. For the four-cylinder engine application, the timer is stopped after a forty degree (40°) rotation when sensor 32 detects second edge 66. For the next cylinder firing, a timer is likewise started when crankshaft sensor 32 detects the third edge 67 and is stopped after a forty degree (40°) rotation when sensor 32 detects fourth edge 68. For a six-cylinder engine application, the timer measurements are taken over a sixty degree (60°) angular rotation interval.

The methodology advances to step 78 in which each of the time intervals (T) measured by the microcontroller 52 are used by the microcontroller 52 to calculate an angular velocity (RPM) value  $\omega$  of the crankshaft for the corresponding cylinder. This is generally accomplished by dividing the angular displacement  $\theta$  by the corresponding time (T) measurement. The position time measurements and angular velocity calculations are continually repeated for each cylinder firing event to obtain a series of angular velocities  $\omega_1, \omega_2, \omega_3, \omega_4, \omega_5, \omega_6, \dots$ , etc. corresponding to respective cylinders 1, 3, 4, 2, 1, 3, . . . , for example.

The misfire detection methodology 85 proceeds to step 80 in which microcontroller 52 calculates changes in angular velocity ( $\dot{\omega}$ ) which correspond to each expected cylinder firing event. The change in angular velocity for a current cylinder (i) is calculated by determining the difference between angular velocity for the current cylinder (i) and the following successive cylinder (i+1). The calculated changes in angular velocity are represented by  $\dot{\omega}_1, \dot{\omega}_2, \dot{\omega}_3, \dot{\omega}_4$ , etc. The angular velocity changes  $\dot{\omega}$  are continually calculated from one cylinder firing event to another and may be accumulated and a consecutive series of angular velocity changes can be saved in memory 54 or calculated from stored velocity information  $\omega$ .

The angular velocity changes  $\dot{\omega}$  are applied to the first averaging filter 72a which, according to the methodology 85, generally includes steps 82 and 84. In step 82, a series

of angular velocity changes  $\omega$  are first sorted. Turning to FIGS. 5 and 6, a continuous series of consecutive changes in angular velocity  $\omega$  are shown for a four-cylinder engine provided in FIG. 5 and a six-cylinder engine provided in FIG. 6. Referring to the four-cylinder engine of FIG. 5, a continuous series of consecutive changes in angular velocity  $\omega_{i-3}, \omega_{i-2}, \omega_{i-1}, \omega_i, \omega_{i+1}, \omega_{i+2}, \omega_{i+3}, \omega_{i+4}, \omega_{i+5}$  are shown for respective cylinder firing events corresponding to cylinders 4 2 1 3 4 2 1 3 4. According to the present invention, a window containing a series 104 of consecutive angular velocity changes is selected. This selected series 104 includes the current change in angular velocity  $\omega_i$  for the current cylinder firing event (i) and adjacent changes in angular velocity. According to one embodiment, the misfire detection methodology 85 preferably selects a series 104 of  $X=4$  angular velocity changes which includes the angular velocity changes for the current cylinder firing event  $\omega_i$ , the single previous cylinder firing event  $\omega_{i-1}$ , and the two successive following cylinder firing events  $\omega_{i+1}$  and  $\omega_{i+2}$ . According to an alternate embodiment, a series 104' of selected changes in angular velocity correspond to the two previous cylinder firing events  $\omega_{i-2}$  and  $\omega_{i-1}$ , the current cylinder firing event  $\omega_i$ , and the following cylinder firing event  $\omega_{i+1}$ .

According to the six-cylinder arrangement as shown in FIG. 6, a window containing a series 106 of six consecutive angular velocity changes is similarly selected from a continuous series of calculated angular velocity changes. According to one preferred embodiment, the series 106 includes the current change in angular velocity  $\omega_i$  for cylinder firing event (i), the three previous consecutive cylinder firing events  $\omega_{i-3}, \omega_{i-2}$  and  $\omega_{i-1}$ , and the following two cylinder firing events  $\omega_{i+1}$  and  $\omega_{i+2}$ . According to an alternate embodiment for the six-cylinder arrangement, the selected series 106' includes the previous two cylinder firings as shown by  $\omega_{i-2}$  and  $\omega_{i-1}$ , the current cylinder firing event  $\omega_i$  and the following three cylinder firing events  $\omega_{i+1}, \omega_{i+2}$  and  $\omega_{i+3}$ .

Accordingly, a series 104 or 104' of four changes in angular velocity corresponding to four consecutive cylinder firing events are selected for a four-cylinder engine, while a series 106 or 106' of six velocity changes corresponding to six cylinder firing events are measured for a six-cylinder engine. In either case, the window containing the series of selected angular velocity changes includes velocity changes corresponding to the current cylinder of interest and adjacent cylinders. It is preferred that the series has an even number of selected angular velocity changes  $\omega$ . It is also preferred that the number of selected velocity changes  $\omega$  be equal to the number of cylinders in the engine of interest.

Referring back to FIG. 4, the selected changes in angular velocity are sorted by amplitude as provided in step 82 of the misfire detection methodology 85. Of the sorted changes in angular velocity, the middle two values  $\omega_{mid1}$  and  $\omega_{mid2}$  are chosen and are used to calculate an average change in angular velocity  $\omega_{ave}$ . This is accomplished by dividing in half the sum of the two middle values  $\omega_{mid1}$  and  $\omega_{mid2}$ . The average change in angular velocity  $\omega_{ave}$  is continually calculated for each cylinder firing event.

Next, an average compensated change in angular velocity change is determined as shown in step 84. This is accomplished by comparing the current change in angular velocity  $\omega_i$  with the average angular velocity change  $\omega_{ave}$  to deter-

mine the average compensated change in the angular velocity change as represented by  $\beta$ . Preferably, the average compensated value  $\beta$  is determined by subtracting the average angular velocity change  $\omega_{ave}$  from the current angular velocity change  $\omega_i$ . The average compensated change in angular velocity change  $\beta$  is output from the first averaging filter 72a and applied to the second averaging filter 72b.

The second averaging filter 72b according to the methodology 85 generally includes steps 86 and 88. According to step 86, a series of average compensated change in angular velocity changes (i.e., average compensated values)  $\beta$  are sorted and an average of two middle values from a selected series is calculated. Turning momentarily to FIG. 7, a continuous series of consecutive changes in average compensated values  $\beta$  are shown for a four-cylinder engine. A continuous series of consecutive average compensated values  $\beta_{i-3}, \beta_{i-2}, \beta_{i-1}, \beta_i, \beta_{i+1}, \beta_{i+2}, \beta_{i+3}, \beta_{i+4}$  and  $\beta_{i+5}$ , are shown for respective cylinder firing events corresponding to cylinders 4 2 1 3 4 2 1 3 4. According to the present invention, a window containing a series 108 of consecutive average compensated values  $\beta$  is selected. This selected series 108 includes a current change in average compensated value  $\beta_i$  for the current cylinder firing event (i) and adjacent average compensated values. According to one embodiment, the misfire detection methodology 85 preferably selects a series 108 of  $X=4$  average compensated values which includes the average compensated value for the current cylinder  $\beta_i$ , the single previous cylinder firing event  $\beta_{i-1}$ , and the two successive following cylinder firing events  $\beta_{i+1}$  and  $\beta_{i+2}$ . According to an alternate embodiment, the selected series 108' of selected average compensated values contains values corresponding to the two previous cylinder firing events  $\beta_{i-2}$  and  $\beta_{i-1}$ , the current cylinder firing event  $\beta_i$ , and the following cylinder firing event  $\beta_{i+1}$ . According to a six-cylinder arrangement, the window would preferably contain a series of six consecutive average compensated values  $\beta$  similarly selected from a continuous series of average compensated values.

It should be appreciated that the selection of average compensated values  $\beta$  similarly corresponds to the selection of the angular velocity changes  $\omega$  as shown and described in connection with FIGS. 5 and 6 for use in the first averaging filter 72a. It is preferred that the series contains an even number of average compensated values  $\beta$ . It is also preferred that the number of average compensated values  $\beta$  selected in the series be equal to the number of cylinders in the engine of interest.

Referring again to FIG. 4, the selected average compensated values  $\beta$  are sorted by amplitude as provided in step 86 of the misfire detection methodology 85. Of the sorted average compensated values  $\beta$ , the middle two sorted values  $\beta_{mid1}$  and  $\beta_{mid2}$  are chosen and are used to calculate an average compensated change in the average compensated value  $\beta$  which is represented by  $\beta_{ave}$ . The average value  $\beta_{ave}$  determined in step 86 is preferably calculated by dividing in half the sum of the two middle values  $\beta_{mid1}$  and  $\beta_{mid2}$ . The average value  $\beta_{ave}$  is continually calculated for each cylinder firing event.

Next, the second averaging filter 72b, according to the methodology 85, determines an average compensated change in the average compensated value  $\beta$  as represented by  $\alpha$  shown in step 88. This is accomplished by comparing the current average compensated value  $\beta_i$  with the average value  $\beta_{ave}$  to determine the average compensated value  $\alpha$ . Preferably, the average compensated value  $\alpha$  is determined by subtracting the average value  $\beta_{ave}$  from the current

average compensated value  $\beta$ . The average compensated value  $\alpha$  is output from the second averaging filter 72b and used for providing a determination of misfire detection in the current cylinder (i) as will be explained in connection with step 74.

The average compensated value  $\alpha$  is used to determine whether or not a misfire occurred for the current cylinder (i) as provided in step 74 of the methodology 85. More particularly, the average compensated value  $\alpha$  is compared with a predetermined threshold value (RPMLOW) to determine if a misfire has been detected. The predetermined threshold value (RPMLOW) is retrieved from a threshold surface 90 of information stored in memory or a state machine. Threshold value RPMLOW is a function of engine speed, changes in engine speed and manifold pressure (MAP) which is looked up in the mapped surface 90. Referring momentarily to FIG. 8, an example of a RPMLOW threshold surface 90 is provided therein. The RPMLOW threshold value as provided by value 110 is determined by looking up the current engine speed, calculated change in engine speed and manifold pressure as presented during the misfire determination for the current cylinder firing event. Accordingly, engine speed 92 is monitored as well as manifold pressure (MAP) 94, while microcontroller 52 determines changes in engine speed.

Additionally, the selected RPMLOW threshold value may optionally be multiplied by a temperature compensation factor 96 in order to compensate for a cold engine condition. In doing so, current engine temperature 100 is measured and a temperature compensation factor is looked up in a temperature compensation table 98. This compensation table factor is then multiplied by the selected RPMLOW threshold value in step 96 and the compensated value is used as the comparison threshold value RPMLOW for misfire determination according to step 74.

When a misfire event is detected, the cylinder 14 is identified by the camshaft sensor 34 and the crankshaft 32 and the cylinder misfire information is stored in memory 54 according to step 102. The accumulated misfire information may be retrieved and used to determine the cause of an engine problem. Additionally, the number of misfires may be evaluated by the microcontroller 52 to determine whether a given rate of misfire would cause premature failure of the catalyst 24. If catalyst failure is indicated, the cylinder number or identification may be recorded by microcontroller 52 and the driver warning lamp 62 can be illuminated by the lamp driver 60. Nonetheless, the driver warning lamp 62 can be illuminated to indicate one or more misfire events.

The misfire detection apparatus and methodology of the present invention advantageously is operable to detect misfire events, while able to discriminate between actual misfires and noise related events. Accordingly, noise commonly associated with engine transients such as harsh shifting of a manual transmission can advantageously be filtered out with the use of a plurality of cascade configured averaging filters according to the present invention. Furthermore, misfire induced noise may likewise be eliminated as possible misfire events and improved signal to noise ratio may be achieved.

Examples of event data taken from a four-cylinder engine during a misfire induced bobble condition and then during a harsh clutch maneuver is illustrated and will now be described in connection with FIGS. 9a-9c and 10a-10c. The event data provided in FIGS. 9a-9c was taken during the misfire induced bobble condition in which a misfire occurring at certain engine speeds and loads further causes ensuing torsional forces in the crankshaft generally where

the crankshaft velocity information is taken. As a result, the event data will tend to look like a higher rate of misfires than what actually occurred, thereby providing false misfire reports with many conventional misfire detection approaches. With particular reference to FIG. 9a, a misfire occurs on cylinder number 1 whereby a negative angular velocity change  $\omega$  results as shown by reference numerals 112. As previously mentioned, the occurrence of a misfire will generally cause a decrease in the angular velocity and velocity change. However, due to the aforementioned torsional forces in the crankshaft, a large negative angular velocity change  $\omega$  occurs on the second occurrence of cylinder 1 and also on the occurrence of cylinder 3 as shown by reference numerals 113 and 114, respectively. The first averaging filter output  $\beta$ , as shown in FIG. 9b, partially distinguishes the misfire event occurring on cylinder 1 from the bobble induced effects 113 and 114 on the following cylinder 1 and cylinder 3, respectively. Turning to FIG. 9c, the dual-cascaded averaging filter output  $\alpha$  clearly distinguishes the misfire event 112 on cylinder 1 from the bobble induced data 113 and 114. Accordingly, the present invention advantageously filters out bobble induced noise which may otherwise cause a false misfire report. It should be appreciated that three or more cascaded averaging filters could further distinguish actual misfire events from bobble induced events.

Finally, turning to FIGS. 10a-10c, event data is shown for a harsh clutch maneuver where the clutch is declutched in a manual transmission without the occurrence of any misfire event. As shown in FIG. 10a, a harsh clutching maneuver causes large negative crankshaft velocity changes  $\omega$  as shown by reference numerals 116. In all, a total of nine misfire events could be counted with some of the conventional misfire detection approaches. Turning to FIG. 10b, the first averaging filter output  $\beta$  eliminates some of the false misfire reports; however, the events 116 may still be detected as false misfire reports. Turning to FIG. 10c, the dual-cascaded averaging filter output  $\alpha$  adequately filters out the events introduced by the harsh clutching condition so that no false misfire reports are generated. It should be appreciated that three or more cascaded averaging filters may further reduce the effects introduced in the harsh clutching condition or other noise related events.

While a specific embodiment of the invention has been shown and described in detail to illustrate the principles of the present invention, it will be understood that the invention may be embodied otherwise without departing from such principles. For example, one skilled in the art will readily recognize from such discussion and from the accompanying drawings and changes that various changes, modifications and variations can be made therein without departing from the spirit and scope of the present invention as described in the following claims.

What is claimed is:

1. An apparatus for detecting misfires of cylinder firings in an internal combustion engine comprising:

means for measuring changes in engine speed corresponding to each of a plurality of expected cylinder firings; first filter means for calculating an average change in engine speed over a plurality of cylinder firings for each expected cylinder firing and determining a first deviation between the average change in engine speed and a current change in engine speed corresponding to each expected cylinder firing, said first filter means outputting a series of said first deviations;

second filter means for calculating an average change in the first deviations output from the first filter means and

## 11

determining a second deviation between the average change in first deviations and a current change in the first deviations corresponding to a selected cylinder; and

comparison means for comparing the second deviation of the second filter means to a threshold value to determine if a misfire has occurred for the selected cylinder.

2. The apparatus as defined in claim 1 wherein said first filter means is cascade connected to the second filter means.

3. The apparatus as defined in claim 1 wherein said first filter means sorts a plurality of cylinder firings by amplitude and averages the two middle values to calculate the average change in engine speed.

4. The apparatus as defined in claim 1 wherein the plurality of cylinder firings in the first filter means comprises an even number.

5. The apparatus as defined in claim 1 wherein the plurality of expected cylinder firings in the first filter means comprise a number equal to the number of cylinders in the internal combustion engine.

6. The apparatus as defined in claim 1 wherein the threshold value is a function of engine speed and manifold pressure.

7. The apparatus as defined in claim 1 wherein said measuring means measures the engine speed as a function of change in angular position of a crankshaft associated with the engine over each expected cylinder firing.

8. A method of detecting misfires of cylinder firings in an internal combustion engine, said method comprising:

measuring changes in engine speed corresponding to each of a plurality of expected cylinder firings;

calculating an average change in engine speed over a plurality of the expected cylinder firings for each of a plurality of cylinders;

determining a first deviation between the average change in engine speed and a current selected change in engine speed for each of the cylinders and providing first filtered outputs therefrom;

calculating an average deviation from said first filtered outputs over a series of said first deviations;

## 12

determining a second deviation between the average deviation and a current selected first deviation to provide a second filtered output; and

comparing the second filtered output to a threshold value to determine if a misfire has occurred for the selected cylinder.

9. The method as defined in claim 8 wherein the step of calculating an average change in engine speed comprises sorting the changes in engine speed for the plurality of expected cylinder firings and averaging the middle two values.

10. The method as defined in claim 8 wherein the step of calculating an average deviation from the first filtered output comprises the steps of sorting deviations over a plurality of expected engine cylinder firings and averaging the two middle deviations.

11. The method as defined in claim 8 further comprising the step of storing threshold values in memory as a function of engine speed and manifold pressure.

12. A method of detecting misfires of cylinder firings of an internal combustion engine, said method comprising:

measuring changes in engine speed corresponding to each of a plurality of cylinder firings;

processing the measured changes in engine speed with a first averaging filter including the steps of calculating an average change in angular velocity for each of the selected cylinders and determining first deviations between the average change in angular velocity and the current change in angular velocity for each of the corresponding selected cylinders and outputting a series of first deviations;

processing the deviations output from the first averaging filter including the steps of calculating an average deviation of the first deviations and determining a second deviation between the average deviation and a current one of said first deviations corresponding to the current selected cylinder; and

determining if a misfire has occurred for the current selected cylinder by comparing the second deviation to a threshold value.

\* \* \* \* \*

**THIS PAGE BLANK (USPTO)**

[54] METHOD FOR IDENTIFYING AND CORRECTING ERRORS IN TIME MEASUREMENTS ON ROTATING SHAFTS

[75] Inventors: Anton Angermaier, Landshut; Thomas Vogt, Regensburg; Manfred Wier, Wenzelbach, all of Germany

[73] Assignee: Siemens Aktiengesellschaft, Munich, Germany

[21] Appl. No.: 107,216

[22] Filed: Aug. 16, 1993

[30] Foreign Application Priority Data

Aug. 14, 1992 [EP] European Pat. Off. .... 92113916.8

[51] Int. Cl.<sup>6</sup> ..... G01M 15/00

[52] U.S. Cl. .... 73/116; 324/207.25

[58] Field of Search ..... 73/116, 117.3; 324/207.25

[56] References Cited

## U.S. PATENT DOCUMENTS

4,216,419 8/1980 Van Dam et al. .... 318/327  
4,814,704 3/1989 Zerrien, Jr. et al. .... 324/207.25

4,858,158 8/1989 Ishikawa ..... 324/207.25  
5,117,681 6/1992 Dodsall et al. .... 73/116  
5,237,862 8/1993 Mangrulkar et al. .... 73/116

## FOREIGN PATENT DOCUMENTS

0039900 11/1981 European Pat. Off. .  
0353216 1/1990 European Pat. Off. .  
3506233 10/1985 Germany .

Primary Examiner—Robert Raevis

Assistant Examiner—James M. Olsen

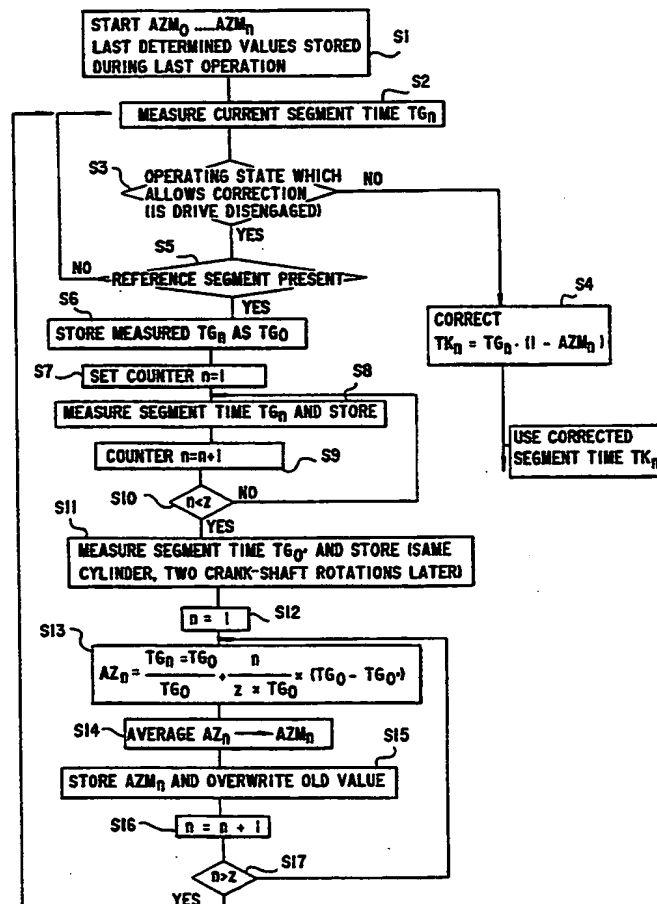
Attorney, Agent, or Firm—Herbert L. Lerner; Laurence A. Greenberg

[57]

## ABSTRACT

A method for identifying and correcting errors in time measurement on rotating shafts, particularly on crankshafts or shafts connected thereto in internal combustion engines, whereby the shafts are provided with marks which are scanned with sensors. The segment times required by the shaft to rotate about a defined angular distance are measured and compared with a reference segment.

18 Claims, 2 Drawing Sheets



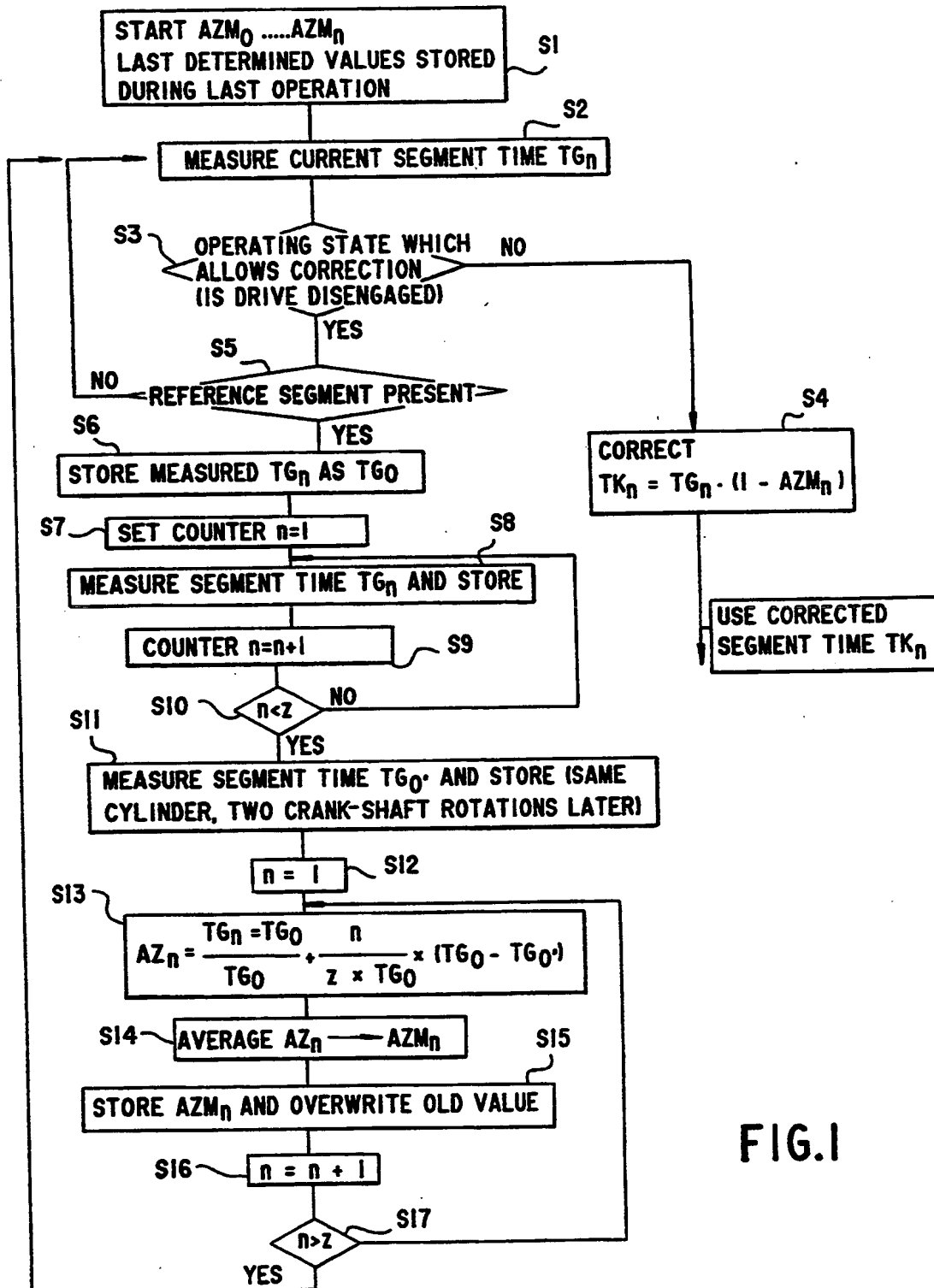


FIG. 1



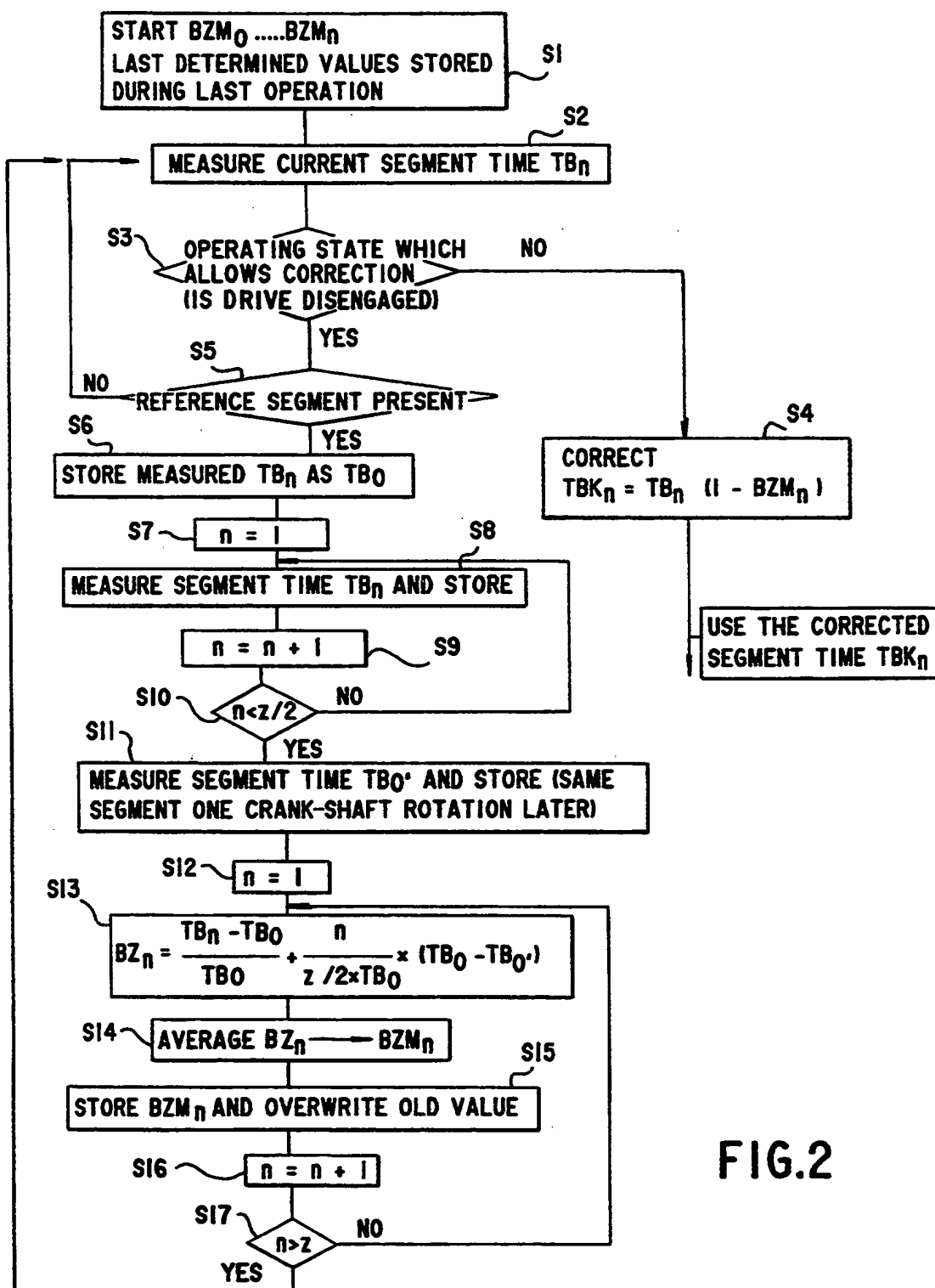


FIG.2

# METHOD FOR IDENTIFYING AND CORRECTING ERRORS IN TIME MEASUREMENTS ON ROTATING SHAFTS

## BACKGROUND OF THE INVENTION

### 1. Field of the Invention

The invention relates to a method for identifying and correcting errors in time measurements on rotating shafts, particularly on crankshafts or shafts in internal combustion engines connected thereto.

Time measurement of this kind is effected in that the shaft itself or a tachometer disk connected thereto carry marks that are scanned by sensors. The time required by the shaft to traverse a specific angle of rotation is measured. In general, the rotational speed or rpm can be measured in this manner. More particularly, rpm fluctuations can be detected with arbitrarily accurate resolution at the circumference of the shaft or the tachometer disk, depending on the spacing of the marks.

Such measurements are used in internal combustion engines, for example, for identifying erratic combustion or misfiring via short-term slowing of the angular speed of the crankshaft. In the process the spacings of the markings on the crankshaft or the tachometer disk correspond to the stroke cycles of the individual cylinders.

However, if the markings or the tachometer disk have mechanical defects or inaccuracies, the angular speed measurement is distorted. For instance, angular errors of the segments or marking teeth of the tachometer disk, disk backlash or variance in the tooth formation can cause such distortions.

## SUMMARY OF THE INVENTION

It is accordingly an object of the invention to provide a method for identifying and correcting errors in time measurements at rotating shafts, which overcomes the hereinafore-mentioned disadvantages of the heretofore-known methods and devices of this general type and which permit the identification of such errors and appropriate correction of the measured time values.

With the foregoing and other objects in view there is provided, in accordance with the invention, in a method for determining a segment time required for a segment of a rotating shaft, preferably a crankshaft of an internal combustion engine with  $z$  cylinders, to rotate about a defined angular distance, in which the shaft or a tachometer disk connected thereto are provided with marks which are scanned by an associated sensor, a method for identifying and correcting errors in determining the segment time, which comprises:

measuring and storing a reference segment time ( $TG_0$ ) of a reference segment associated with a reference cylinder;

subsequently measuring segment times ( $TG_n$ ) of crankshaft segments associated with respective individual cylinders for each of the cylinders ( $n$ );

measuring and storing a new segment time ( $TG_0'$ ) of the reference segment associated with the reference cylinder two full crankshaft rotations later;

and calculating correction values ( $AZ_n$ ) for each of the cylinders ( $n$ ), in accordance with an equation

$$AZ_n = \frac{TG_n - TG_0}{TG_0} + \frac{n}{z} \cdot \frac{TG_0 - TG_0'}{TG_0}$$

subsequently averaging respective correction values ( $AZ_n$ ) and storing the averaged correction value ( $AZM_n$ ); and

correcting the measured segment times ( $TG_n$ ) with the averaged correction value ( $AZM_n$ ) for forming corrected segment times ( $TK_n$ ) according to an equation

$$TK_n = TG_n \cdot (1 - AZM_n)$$

In accordance with an added feature of the invention, the correction values are calculated during a thrust cutoff operating state of the engine, i.e. an operating state of the engine during which no fuel is supplied.

In accordance with an additional feature of the invention, the correction values are calculated only within a given range of rotational speeds of the engine. Alternatively, or additionally, a threshold value of a rotational speed is established, and the correction values are calculated only below the threshold value.

In accordance with another feature of the invention, the values are averaged with a sliding average according to the equation

$$AZM_n = AZM_{n-1} \cdot (1 - MITKO) + AZ_n \cdot MITKO$$

where  $n$  is a dummy index,  $z$  is the number of segments or cylinders, and  $MITKO$  is a predetermined averaging constant between zero and one.

In accordance with a further feature of the invention, the correction values are initialized with initialization values, preferably zero, during a first start of engine operation, and the correction values ( $AZ_n$ ) are set for each further start of operation to values determined and stored during a preceding engine operation, and the correcting step is only performed after the calculating step has been performed a predetermined number ( $ZS$ ) of times. The predetermined number ( $ZS$ ) may be a value which is inversely proportional to the averaging constant ( $MITKO$ ).

With the foregoing and other objects in view, there is also provided, in accordance with the invention, in a method for determining a segment time required by a rotating shaft, particularly a crankshaft of an internal combustion engine with  $z$  cylinders, to rotate about a defined angular span, wherein the crankshaft or a tachometer disk connected thereto are provided with marks which are scanned by an associated sensor, a method for identifying and correcting errors in determining the segment time, which comprises: measuring and storing a reference segment time ( $TB_0$ ) of a reference segment, preferably associated with a reference cylinder; measuring and storing consecutive segment times ( $TB_n$ ) of all segments of the rotating shaft; measuring and storing the reference segment time ( $TB_0'$ ) of the reference segment one crankshaft rotation later; calculating correction values ( $BZ_n$ ) for respective ones of the segments ( $n$ ) according to an equation

$$BZ_n = \frac{TB_n - TB_0}{TB_0} + \frac{n}{z/2} \cdot \frac{TB_0 - TB_0'}{TB_0}$$

subsequently averaging the correction values and storing the averaged correction values ( $BZM_n$ ); correcting the actually measured segment times ( $TB_n$ ) with the averaged correction values ( $BZM_n$ ) according to an equation

$$TBK_n = TB_n \cdot (1 - BZM_n).$$

With the first embodiment of the invention, the segment times for a reference element are measured at intervals of two crankshaft rotations. In this way it is possible to compensate for a general change in rpm tendency that would otherwise lead to erroneous corrections. The further segment times measured between these two measurements are compared to this reference segment, and a correction factor that permits a correction of the measured segment time for individual cylinders is determined as a function of the calculated time difference.

With the second embodiment of the invention, the segment times for a reference element are measured at intervals of one crankshaft rotation. In doing so it is again possible to compensate for a general change in the rpm tendency that would otherwise lead to erroneous corrections. The further segment times measured between these two measurements are compared with this reference segment, and a correction value that permits a correction of the measured segment time for individual segments is determined as a function of the calculated time difference.

As described at the outset, time variations with successive measurements of angular segments can have different causes. They can stem from an actual change in the angular speed of the crankshaft or defective, unequal segment sizes between the individual crankshaft markings.

It is certain that the measured differences actually arise because of varying segment sizes. Influences on time errors, i.e. between the segment times, dictated by ignition and combustion must be ruled out. Error identification and error correction in accordance with the methods of the invention are therefore preferably executed during the operating state of thrust cutoff, i.e. while the fuel supply is cut off.

Further details may be found in applicants' European patent application No. 92 11 3917.6, filed Aug. 14, 1992, corresponding to copending U.S. patent application No. 08/107,217, which is herewith incorporated by reference. Other features which are considered as characteristic for the invention are set forth in the appended claims.

Although the invention is illustrated and described herein as embodied in a method for identifying and correcting errors in time measurements on rotating shafts, it is nevertheless not intended to be limited to the details shown, since various modifications and structural changes may be made therein without departing from the spirit of the invention and within the scope and range of equivalents of the claims.

The method of operation of the invention, however, together with additional objects and advantages thereof will be best understood from the following description of specific embodiments when read in connection with the accompanying drawings.

#### BRIEF DESCRIPTION OF THE DRAWINGS

FIG. 1 is a flow chart of a first embodiment of the method according to the invention for determining correction values for individual cylinders; and

FIG. 2 is a flow chart of a second embodiment of the method according to the invention for determining correction values for individual segments.

#### DESCRIPTION OF THE PREFERRED EMBODIMENT

Referring now to the figures of the drawing in detail, and first, particularly, to FIG. 1 thereof, a method step S1 designates correction values which are adopted at the start of operation. These values were stored as the values that were determined during the last engine operation. After new correction values have been determined, these old correction values are overwritten. During the very first engine operation the correction values are initialized with initialization values, preferably with zero.

In a method step S2 the segment time  $TG_n$  of the current segment  $n$  is measured.

In a method step S3 a check is performed as to whether the engine is in an operating state which permits the calculation of new correction values. A suitable operating state which allows a dependable measurement is thrust cutoff, i.e. when fuel delivery to the engine is turned off. The calculation of correction values can also be limited to a specific rpm range in order to avoid engine-specific errors. To avoid possible error correction with a dramatically changing rpm, the calculation of new correction values can be omitted during such markedly unsteady operations.

If no suitable operating state is available, no new correction values are calculated. Instead, the old, last stored correction values are used. In that case, the flow branches to a method step S4, in which the measured segment time  $TG_n$  is corrected. The correction is done with an associated correction value  $AZM_n$  in accordance with the equation

$$TK_n = TG_n \cdot (1 - AZM_n).$$

The segment time  $TK_n$  corrected in this manner can then be arbitrarily used in any of those operations that require information regarding the rotational speed of the crankshaft and particular changes in these speeds.

However, if the current operating state permits the calculation of new correction values, the process is not branched to S4, but instead to a method step S5, in which a check is made of whether the measured segment time was the time of the reference time. An arbitrary segment can be selected as the reference segment. It is advantageous if the first segment in the ignition sequence is selected. This segment is defined as being free from defects.

If the segment time of the reference segment was not measured, the process returns to step S2 and measures the next segment time  $TG_n$ .

As soon as a positive answer is obtained in S5, i.e. if the reference segment was measured, a method step S6 follows, where the measured segment time  $TG_n$  is stored as the segment time of the reference segment  $TG_n$ .

In the following method steps S7 through S10, the segment times of the successive segments logically associated with the individual cylinders are measured consecutively:

In a method step S7 a counter is set to an initial value of  $n=1$ . In a method step S8 the current segment time  $TG_n$  is measured and stored. In a method step S9 the counter is advanced by 1. A query in step S10 determines whether or not the counter  $n$  has reached the number of cylinders  $z$ , i.e. if a segment time for each cylinder has been measured. Once the segment times for

all of the segments associated with the individual cylinders have been determined, the process continues with a method step S11, in which the segment time of a reference segment  $TG_0'$  is measured and stored. The segment  $TG_0'$  corresponds to  $TG_0$  but now two crankshaft rotations later.

Then the correction values for the individual segments associated with the cylinders are calculated consecutively in the following method steps S12 through S17:

In a method step S12 a counter is set to an initial value of  $n=1$ . In a method step S13 the correction value  $AZ_n$  for the individual cylinder is calculated in accordance with the equation

$$AZ_n = \frac{TG_n - TG_0}{TG_0} + \frac{n}{z} \cdot \frac{TG_0 - TG_0'}{TG_0}$$

where  $z$  represents the total number of cylinders. This equation applies to four-cycle engines.

The correction value  $AZ_n$  is subsequently averaged (method step S14). The mean is arrived at, for instance, by a sliding averaging in accordance with the equation

$$AZM_n = AZM_{n-1} \cdot (1 - \text{MITKO}) + AZ_n \cdot \text{MITKO}.$$

The term MITKO is an averaging constant or weighting constant, and  $n$  is a dummy index for the averaging operation (it does not correspond to the segment numbers). The averaging is recommended because any systematic errors of the segments are superimposed onto the coincidental errors such as fluctuations of the system clock speed underlying the control system, tolerances with the switching accuracy of the sensors and general oscillations or malfunctions originating in the drive train.

The newly determined mean correction value is stored in that the old correction value is overwritten (method step S15).

In method step S16 the counter is advanced by 1.

After all the required correction values have been determined, the process flow loops back from method step S17 to method step S2.

So that the next segment times can immediately be enlisted to determine correction values, provided that the operating state of the engine permits it, the segment time  $TG_0'$  measured last is used in the next cycle as the new segment time  $TG_n$  to be measured.

It is thus seen that the method according to the invention permits the determination of correction values for individual cylinders.

Referring now to FIG. 2, which describes an alternative embodiment of the method illustrated in FIG. 1, correction values for individual segments are used.

Method steps S1 through S4 correspond to the respective method steps in FIG. 1.

In method step S5 a query is performed as to whether or not the measured segment time is that of the reference segment. The reference segment differs from the reference segment of the first method in that it is no longer associated with a specific cylinder, but a specific, marked segment of the crankshaft that is defined as being free from defects. If the reference segment was not the one measured, method step S2 is repeated and the next segment time is measured.

If the reference segment was the one measured, however, the measured segment time  $TB_n$  is stored as the

segment time of the reference segment  $TB_0$  (method step S6).

In the following method steps S7 through S10, the respective segment time is now measured for all segments located on the crankshaft in the course of one rotation. One-half the number of cylinders is used as the upper limit for the number of segments. The method is thus only suited for even-numbered cylinder counts.

In method step S11 the segment time  $TB_0'$  of the reference segment of a crankshaft rotation is later measured and stored.

Now the correction values for the individual segments are calculated consecutively in method steps S12 through S17, in accordance with the equation

$$BZ_n = \frac{TB_n - TB_0}{TB_0} + \frac{n}{z/2} \cdot \frac{TB_0 - TB_0'}{TB_0}$$

The total number of cylinders is represented by  $z$ . This equation applies to four-cycle engines.

The correction values are then averaged (method step S14), for example according to the sliding averaging equation

$$BZM_n = BZM_{n-1} \cdot (1 - \text{MITKO}) + BZ_n \cdot \text{MITKO},$$

where MITKO is a weighting constant.

These mean correction values are stored in that the old correction values are overwritten (method step S15).

When the correction values for all of the segments have been determined, the flow returns from method step S17 to method step S2. In this case as well, the segment time  $TB_0'$  that was measured last is used as the new segment time  $TB_0$  in the next cycle, provided that the operating state permits the next segment times to be enlisted immediately in determining correction values.

We claim:

1. In a method for determining a segment time required for a segment of a rotating crankshaft of an internal combustion engine with  $z$  cylinders to rotate about a defined angular distance, in which the crankshaft or a tachometer disk connected thereto are provided with marks which are scanned by an associated sensor, a method for identifying and correcting errors in determining the segment time, which comprises:

measuring and storing a reference segment time ( $TG_0$ ) of a reference segment associated with a reference cylinder;  
subsequently measuring segment times ( $TG_n$ ) of crankshaft segments associated with respective ones of the cylinders;  
measuring and storing a new segment time ( $TG_0'$ ) of the reference segment associated with the reference cylinder two full crankshaft rotations later; and  
calculating correction values ( $AZ_n$ ) for each of the cylinders ( $n$ ) in accordance with an equation

$$AZ_n = \frac{TG_n - TG_0}{TG_0} + \frac{n \cdot (TG_0 - TG_0')}{z \cdot TG_0}$$

where  $z$  represents a total number of cylinders; subsequently averaging respective correction values ( $AZ_n$ ) and storing the averaged correction values ( $AZM_n$ ); and correcting the measured segment times

( $TG_n$ ) with the averaged correction value ( $AZM_n$ ) for forming corrected segment times ( $TK_n$ ) according to an equation

$$TK_n = TG_n * (1 - AZM_n).$$

2. The method according to claim 1, which comprises calculating the correction values during a thrust cutoff operating state of the engine.

3. The method according to claim 1, which comprises calculating the correction values only within a given range of rotational speeds of the engine.

4. The method according to claim 1, which comprises establishing a threshold value of a rotational speed, and calculating the correction values only below the threshold value.

5. The method according to claim 1, which comprises performing the averaging step by calculating a sliding average according to an equation

$$AZM_n = AZM_{n-1} * (1 - MITKO) + AZ_n * MITKO$$

where n is a dummy index and MITKO is a predetermined averaging constant between zero and one.

6. The method according to claim 1, which comprises initializing the correction values with initialization values during a first start of engine operation, and setting the correction values ( $AZ_n$ ) for each further start of operation to values determined and stored during a preceding engine operation, and performing the correcting step only after the calculating step has been performed a predetermined number of times.

7. The method according to claim 6, which comprises initializing the correction values by resetting to zero.

8. The method according to claim 6, which comprises setting the predetermined number of times to a value being inversely proportional to the predetermined averaging constant.

9. In a method for determining a segment time required by a rotating crankshaft of an internal combustion engine with z cylinders to rotate about a defined angular span, wherein the crankshaft or a tachometer disk connected thereto are provided with marks which are scanned by an associated sensor, a method for identifying and correcting errors in determining the segment time, which comprises:

measuring and storing a reference segment time ( $TB_0$ ) of a reference segment associated with a reference cylinder;

measuring and storing consecutive segment times ( $TB_n$ ) of all segments of the rotating shaft;

measuring and storing the reference segment time ( $TB_0'$ ) of the reference segment one crankshaft rotation later;

calculating correction values ( $BZ_n$ ) for respective ones of the segments (n) according to an equation

$$BZ_n = \frac{TB_n - TB_0}{TB_0} + \frac{n}{z/2 * TB_0} * (TB_0 - TB_0')$$

where z represents a total number of cylinders; subsequently averaging the correction values and storing the averaged correction values ( $BZM_n$ ); correcting the actually measured segment times ( $TB_n$ ) with the averaged correction values ( $BZM_n$ ) according to an equation

$$TBK_n = TB_n * (1 - BZM_n).$$

10. The method according to claim 9, which comprises calculating the correction values during a thrust cutoff operating state of the engine.

11. The method according to claim 9, which comprises calculating the correction values only within a given range of rotational speeds of the engine.

12. The method according to claim 9, which comprises establishing a threshold value of a rotational speed, and calculating the correction values only below the threshold value.

13. The method according to claim 9, which comprises performing the averaging step by calculating a sliding average according to an equation

$$BZM_n = BZM_{n-1} * (1 - MITKO) + BZ_n * MITKO,$$

where n is a dummy index and MITKO is a predetermined averaging constant between zero and one.

14. The method according to claim 9, which comprises initializing the correction values with initialization values during a first start of engine operation, and setting the correction values for each further start of operation to values determined and stored during a preceding engine operation, and performing the correcting step only after the calculating step has been performed a predetermined number of times.

15. The method according to claim 14, which comprises initializing the correction values by resetting to zero.

16. The method according to claim 14, which comprises setting the predetermined number of times to a value being inversely proportional to the predetermined averaging constant.

17. In a method for determining a segment time required for a segment of a rotating shaft to rotate about a defined angular distance, in which a shaft or a tachometer disk connected thereto are provided with marks which are scanned by an associated sensor, a method for identifying and correcting errors in determining the segment time, which comprises:

measuring and storing a reference segment time ( $TG_0$ ) of a reference segment;

subsequently measuring segment times ( $TG_n$ ) of further segments (n) of the shaft;

measuring and storing a new segment time ( $TG_0'$ ) of the reference segment two full shaft rotations later; and

calculating correction values ( $AZ_n$ ) for each of the segments (n), in accordance with an equation

$$AZ_n = \frac{TG_n - TG_0}{TG_0} + \frac{n}{z * TG_0} * (TG_0 - TG_0')$$

where z represents the total number of segments; subsequently averaging respective correction values ( $AZ_n$ ) and storing the averaged correction value ( $AZM_n$ ); and

correcting the measured segment times ( $TG_n$ ) with the averaged correction value ( $AZM_n$ ) for forming corrected segment times ( $TK_n$ ) according to an equation

$$TK_n = TG_n * (1 - AZM_n).$$

18. In a method for determining a segment time required by a rotating shaft to rotate about a defined angular span, in which the rotating shaft or a tachome-

ter disk connected thereto are provided with marks which are scanned by an associated sensor, a method for identifying and correcting errors in determining the segment time, which comprises:

measuring and storing a reference segment time 5  
( $TB_0$ ) of a reference segment;  
measuring and storing consecutive segment times  
( $TB_n$ ) of all segments of the rotating shaft;  
measuring and storing the reference segment time  
( $TB_0$ ) of the reference segment one shaft rotation 10  
later; calculating correction values ( $BZ_n$ ) for re-  
spective ones of the segments (n) according to an  
equation

$$BZ_n = \frac{TB_n - TB_0}{TB_0} + \frac{n}{z/2 \cdot TB_0} \cdot (TB_0 - TB_n),$$

where z represents the total number of segments;  
subsequently averaging the correction values and  
storing the averaged correction values ( $BZM_n$ );  
correcting the actually measured segment times  
( $TB_n$ ) with the averaged correction values ( $BZM_n$ )  
according to an equation

$$TBK_n = TB_n \cdot (1 - BZM_n).$$

\* \* \* \* \*

15

20

25

30

35

40

45

50

55

60

65